

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra elektroenergetiky

Měření jističů nízkého napětí při nadproudu a zkratu

**Measurement of Low Voltage Circuit Breakers at Over-Current and
Short-Circuit Current**

2010

Bc. Antonín Maňura

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 6. 5. 2010

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ:

Za cenné rady a připomínky k mé diplomové práci bych chtěl poděkovat panu
Ing. Petru Kačorovi, Ph.D.

Abstrakt:

Tématem této diplomové práce je ověření vypínací charakteristiky tepelné spouště a pozorování účinku zkratového proudu na jistič. Teoretická část je zaměřena na popis základní funkce jističe a jeho konstrukční provedení. Kapitola dále pokračuje nastíněním teorie zkratových jevů. Praktická část je zaměřena na vlastní měření vypínací charakteristiky a účinků zkratu na testovaný jistič.

Klíčová slova:

Jistič, zkrat, nadproud, tepelný integrál, měření jističů, vypínací charakteristika

Abstract:

Topic of the diploma thesis is checking the shutdown characteristics and observation effects of short-circuit current at a circuit-breaker. Theoretical part is about description basic funktion of circuit-breaker and its constructional guided through. The chapter continue with theory of short-circuit phenomena. Practical part is focused on measurement shutdown characteristics and short-circuit to tested circuit-breaker.

Key words:

. Circuit – breaker, over-current, short-circuit, integral heat, measurement circuit-breakers, shutdown characteristics

Seznam použitých symbolů:

I_N	Jmenovitý proud	A
A	Počáteční hodnota stejnosměrné složky zkratového proudu	
AC	Střídavá složka	
ČSN	Česká státní norma	
DC	Stejnoseměrná složka	
EN	Evropská norma	
$i(t)$	Časový průběh zkratového proudu	s
I^2t	Energie propuštěna do obvodu A2s	A^2t
I_k	Ustálený zkratový proud	A
I_k''	Počáteční souměrný rázový zkratový proud	A
I_{MAX}	Maximální proud	A
I_{nt}	Smluvený nevypínací proud	A
I_p	Nárazový zkratový proud	A
I_t	Smluvený vypínací proud	A
NN	Nizké napětí	
R	Odpor	Ω
t	Čas vypnutí	s
U_a	Obloukové napětí	V
U_{MAX}	Maximální napětí	V
VN	Vysoké napětí	
VVN	Velmi vysoké napětí	
W	Energie procházející jističem	J

Obsah

1	ÚVOD	- 1 -
2	JISTIČ	- 2 -
2.1	DEFINICE A FUNKCE JISTIČE	- 2 -
2.2	JEDNOTLIVÉ ČÁSTI JISTIČE	- 2 -
2.2.1	<i>Proudové části</i>	- 2 -
2.2.2	<i>Izolační části</i>	- 3 -
2.2.3	<i>Mechanismus</i>	- 3 -
2.2.4	<i>Zámky a volnoběžky</i>	- 3 -
2.2.5	<i>Pružiny</i>	- 6 -
2.2.6	<i>Spoušť</i>	- 6 -
2.3	ZHÁŠEDLA	- 9 -
2.4	VÝZBROJ	- 9 -
2.5	VYPÍNACÍ CHARAKTERISTIKA JISTIČE	- 10 -
2.6	KONSTRUKČNÍ POPIS JISTIČE	- 11 -
3	TEORIE ZKRATU	- 12 -
3.1	TYPY ZKRATU	- 12 -
3.2	ZKRATY VE STŘÍDAVÝCH OBVODECH	- 14 -
3.2.1	<i>Průběh a parametry zkratového proudu elektricky vzdáleného zkratu</i>	- 14 -
3.2.2	<i>Průběh a parametry zkratového proudu elektricky blízkého zkratu</i>	- 15 -
3.3	ZKRATY VE STEJNOSMĚRNÝCH OBVODECH	- 16 -
3.4	DŮVODY VZNIKU ZKRATU	- 16 -
3.5	NÁSLEDKY ZKRATŮ	- 17 -
4	JOULEŮV INTEGRÁL	- 19 -
4.1	PŘÍKLAD VÝPOČTU JOULEOVA INTEGRÁLU	- 19 -
5	TECHNICKÉ PARAMETRY JISTIČŮ	- 21 -
5.1	TECHNICKÉ PARAMETRY JISTIČE OEZ MINIA	- 21 -
5.2	TECHNICKÉ PARAMETRY JISTIČE MERLIN GERIN DOMAE	- 22 -
5.3	TECHNICKÉ PARAMETRY JISTIČE DEOPKE DLS 6I	- 23 -
6	MĚŘENÍ VYPÍNACÍ CHARAKTERISTIKY	- 26 -
6.1	POPIS MĚŘENÍ	- 26 -
6.2	MĚŘENÍ VYPÍNACÍ CHARAKTERISTIKY	- 27 -
6.2.1	<i>Měření jističe A</i>	- 27 -
6.2.2	<i>Měření jističe B</i>	- 29 -
6.2.3	<i>Měření jističe C</i>	- 30 -
6.3	OVĚŘOVÁNÍ VLIVU TEPLoty NA JMENOVITÝ PROUD	- 31 -

7	MĚŘENÍ JISTIČŮ PŘI ZKRATU	- 32 -
7.1	POPIS MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ	- 32 -
7.2	MĚŘENÍ JISTIČE A	- 33 -
7.3	MĚŘENÍ JISTIČE B	- 38 -
7.4	MĚŘENÍ JISTIČE C	- 44 -
7.5	POROVNÁNÍ PROPUŠTĚNÝCH ENERGIÍ I^2t	- 49 -
8	ZÁVĚR	- 50 -
	POUŽITÁ LITERATURA:	- 52 -
	SEZNAM PŘÍLOH:	- 53 -

1 Úvod

V každé elektrické soustavě je třeba se chránit proti poruchovým stavům. Tyto poruchové stavy mohou vzniknout nejen důsledkem přepětí, zemního spojení, zkratu, ale také neodbornou manipulací se zařízením a dalšími vlivy. Pokud nastane v elektrické soustavě poruchový stav, nezáleží, čím nebo kým byl způsoben, důležité je ho okamžitě potlačit. Důvody mohou být hmotného charakteru, aby tento stav nezničil elektrizační soustavu. Především je důležité zabránit možnému úrazu osob, proto používáme, ve většině elektrických soustav, jisticí přístroje.

Jištění elektrických zařízení je závažným technicko-ekonomickým úkolem. Tímto pojmem se rozumí, aby využití částí, které chrání elektrické zařízení před účinky poruchových proudů a napětí, bylo schopno v sobě skloubit tyto dva odlišné aspekty. Toho je docíleno navrhováním součástí, které vylučují zbytečné předimenzování zařízení. Současně se očekává, že jisticí přístroje, splňující co nejjednodušší konstrukci, budou levné a přesně spolehlivé. Důležitou částí při navrhování je, že nadproudy představují rozsáhlé spektrum hodnot (10^4 násobku jmenovitého proudu) a různou dobu trvání v rozmezí 10^{-2} až několik desítek minut. Před nežádoucími účinky nadproudů, zkratových proudů a podpětí chráníme obvody samočinnými vypínači. V obvodech nízkého napětí se nazývají jističe. Dalším požadavkem pro reálné upotřebení je hospodárná výroba v dostačujícím počtu jisticích přístrojů, které jsou přizpůsobitelné místním podmínkám.

Svou diplomovou práci rozdělím do dvou hlavních částí. Na teoretickou a praktickou část. V teoretické části se budu zabývat základním vysvětlením funkce jističe a jeho konstrukčním řešením. Dále popíšu teoretické pozadí zkratu v obvodu a uvedu obecnou definici zkratu, typy zkratu, důvody, které mohou vznik zkratu zapříčinit a jeho účinky. Zdroji pro teoretické vymezení jednotlivých pojmů mi byla literatura zaměřená na elektrické přístroje, odborné časopisy a webové stránky zabývající se touto problematikou. Obsahem mé praktické části je měření jističů při zkratu a měření vypínací charakteristiky jističe. K měření mám k dispozici tři jističe různých výrobců. V rámci práce porovnáám jejich vypínací charakteristiky a vyhodnotím, který z použitých jističů vykazuje největší odolnost. Během měření se zaměřím i na tepelné účinky používaných jističů a jejich fyzickou odolnost při několikanásobném zatížení zkratem. V neposlední řadě budu u jednotlivých jističů pozorovat rozdíl mezi jednotlivými měřeními a jejich postupné zhoršování schopnosti vypnout zkrat. Cílem mé práce je vyhodnotit jednotlivé charakteristiky proměřených jističů a vyvodit důsledky, které mohou tyto vlastnosti daných jističů mít při praktickém využití.

2 Jistič

2.1 Definice a funkce jističe

Požadavek možnosti ovládání provozu spotřebičů při zachování jistící funkce vedlo ke spojení spínače a pojistky do jednoho celku, který nazýváme jistič. Jistič má za úkol jistit jak síť, tak spotřebiče, nesmí se poškodit ani při přerušování velkých nadproudů, aby byl schopen nového zapnutí. Vykazuje tedy velkou vypínací schopnost. Není však vhodný pro časté spínání.

Má dvě stabilní polohy zapnuto a vypnuto. V poloze zapnuto je sepnutí kontaktů zajišťováno mechanicky tzv. zámky a volnoběžkami, do polohy vypnuto je uváděn jistič působením pružiny

Vypínání zajišťuje pružina, která se při zapnutí napne. Protože napnutá pružina neustále tlačí pohyblivé kontakty do vypnuté polohy, je nutné zapnutou polohu zajistit zámkem. Jeho uvolnění se dosáhne působením řídících článků, které kontrolují změnu některé fyzikální veličiny vzhledem k druhu poruchového stavu a po dosažení podmínky vypnutí dávají popud k uvolnění zámku. Při vypínání vzniká mezi kontakty elektrický oblouk, který se zhasí ve zhasécím systému jističe.

Jističe bývají vzduchové s magnetickým vyfukováním oblouku, nebo méně často s volným zhasením oblouku v oleji (olejové jističe). [1,2]

2.2 Jednotlivé části jističe

Z konstrukčního hlediska můžeme každý spínací přístroj a jistič rozdělit na několik částí.

Tyto části jsou:

1. proudové části
2. izolační části
3. mechanismus
4. zámky a volnoběžky
5. pružiny
6. spouště
7. zhasědla
8. výzbroj

2.2.1 Proudové části

Proudovodnou dráhu tvoří všechny díly přístroje zajišťující přenos proudu. Ve většině případů ji tvoří připojovací svorky, spojovací části a kontakty. Jakmile jsou tyto díly v provozu, jsou namáhány dvojím způsobem jak tepelně, tak také mechanicky.

Mechanické namáhání je způsobeno provozním spínáním- rozběhem a bržděním setrvačných hmotností pohybujících se částí, tahem pružin, nárazy kontaktů při spínání a elektrodynamickými silami vzájemně působící mezi proudovodnými částmi při zkratech.

Existují dva druhy tepelného namáhání - trvalé a zvětšené. Tepelné namáhání trvalé je způsobeno průchodem provozního proudu. Zvětšené tepelné namáhání je způsobeno průchodem zkratových proudů.

Do tepelného namáhání můžeme zahrnout opalování kontaktů. Je to zvláštní druh tepelného namáhání, kde se jedná o vypařování a odstřikování roztaveného materiálu kontaktů vlivem vysoké teploty oblouku. [1,2]

2.2.2 Izolační části

Izolační materiály jsou pro stavbu přístrojů velice důležité, protože zajišťují upevnění proudových částí s dostatečnou mechanickou pevností izolovanou od země a od vodičů jiných fází. Ve vypnutém stavu zajišťují vzájemnou elektrickou izolaci obou kontaktů. Konstrukčně musí být jednotlivé části navrženy tak, aby izolační vzdálenosti mezi částmi s rozdílným potenciálem byly dostatečné a rozložení elektrického pole bylo co nejpříznivější. Při konstrukci jističů používáme izolační materiály všech tří skupenství: plyny (vzduch), kapaliny(převážně transformátorový olej) a pevné látky (organické a anorganické).

Základním izolačním materiálem je vždy látka pevná, která mechanicky spojuje a elektricky odděluje vodivé části. Vzhledem k tomu, že v přístrojích musí probíhat spínací proces tj. přibližování či oddalování kontaktů, je nutná přítomnost dalšího izolantu (plynu, kapaliny či vakua). Rozhraní mezi nimi tvoří povrch pevného izolantu. Tento povrch patří většinou mezi nejslabší místo izolace, protože se zde hromadí nečistoty a sráží vlhkost. Tento jev má negativní účinek na elektrickou pevnost.[1,2]

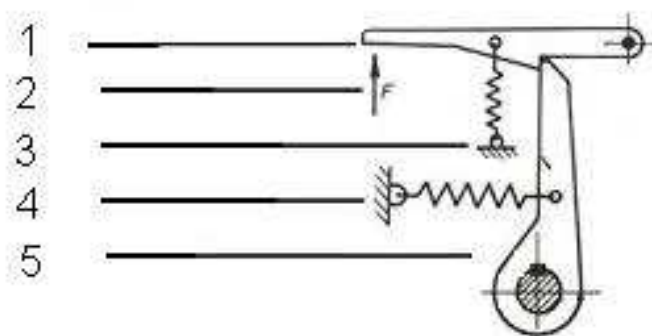
2.2.3 Mechanismus

Mechanismem rozumíme zařízení, kterým přemístíme kontakty z jedné polohy do druhé. K mechanismu také patří nosný rám, či jiný mechanický útvar, na kterém jsou uloženy jednotlivé spínací póly.[1,2]

2.2.4 Zámky a volnoběžky

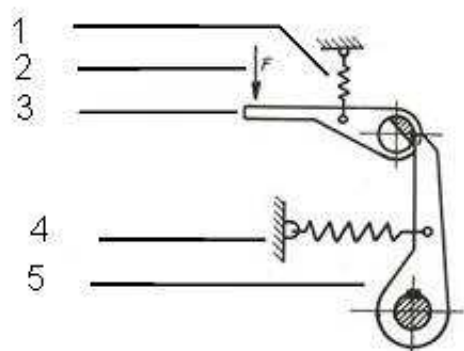
Jsou to mechanismy, které drží kontaktní ústrojí jističů i samočinných vypínačů v zapnuté poloze. Vypnutí jističů lze provést dálkově elektromagnetickou spouští, nebo ručně pákou či tlačítkovým ovládačem. Zámky musí být konstruovány tak, aby síla potřebná k vypnutí zámku byla malá. Jednoduché zámky jsou konstruovány jako západky, nebo prolomené páky. Volnoběžky nazýváme zámky, které jsou složeny z několika jednodušších zámků.

Zámek pomocí západek



Obr. 1.- Konstrukce zámku pomocí pákové západky[2]

Na obrázku, viz Obr. 1, je páková západka, která je přitahována pružinou. Hlavní páka (5) při zapínání nadzdvihne západku (1) proti tahu pružiny (3). Hlavní páka nadzdvihává západku proti pružině tak dlouho dokud se nedostane do zamčené polohy. Jakmile začne působit síla F západka je nadzdvihována a vypínací pružina (4) přitáhne hlavní páku, která je spojena s kontaktním systémem, do vypnuté polohy.

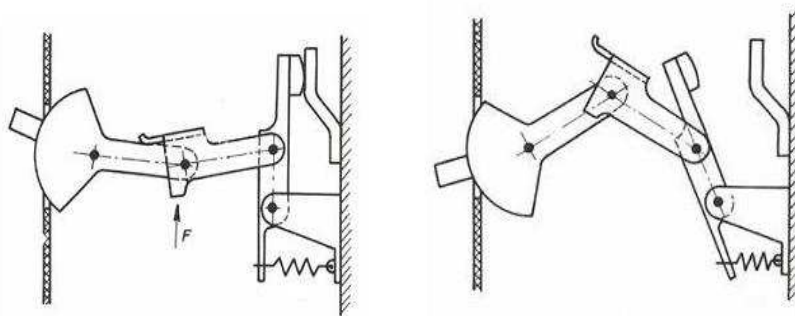


Obr. 2. – Konstrukce zámku pomocí hřídelové západky[2]

Velice podobně funguje mechanismus na obrázku, viz Obr. 2., kde je páková západka nahrazena hřídelovou západkou. Působením vypínací síly F se zbroúšená hřídel pootočí a vypínací pružina (4) opět přitáhne hlavní páku spojenou s pohyblivými kontakty a dojde k vypnutí.

Aby byly takto provedené zámky citlivé a aby vybavovací síla nemusela být příliš velká, provádí se přesah stykových ploch západky co nejmenší. Na druhé straně, aby nedošlo k poškození vybavení provozními otřesy, nesmí být přesah příliš malý.

Zámek prolomených pák

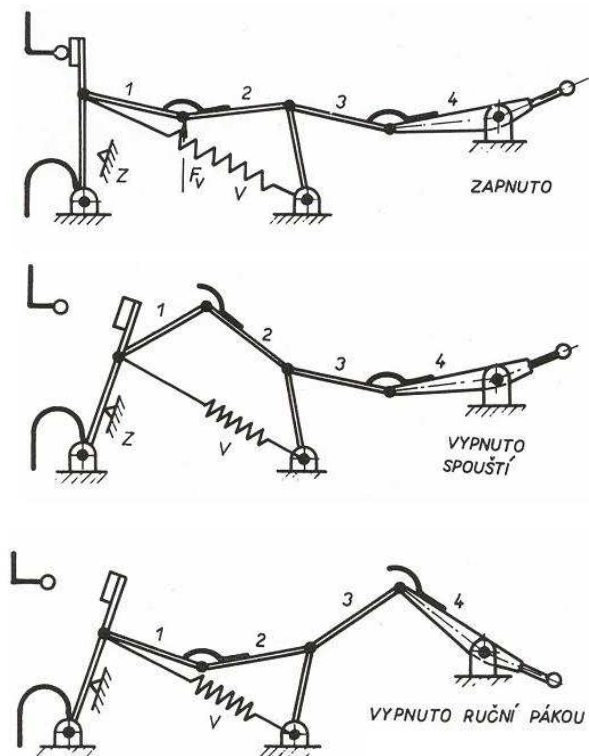


Obr. 3. – Konstrukce zámku dvojitých prolomených pák[2]

V zapnuté poloze musí být páky v jedné rovině a mírně prolomeny za tuto mrtvou polohu. Velikost prolomení je daná zarážkou na jedné z pák. Vypínací síla F působí na střední kloub.

V okamžiku kdy se tento kloub dostane ze zapnuté polohy za polohu mrtvou, vypínací pružina okamžitě oddálí pohyblivý kontakt. Čím menší je prolomení pák, tím menší musí být vybavovací síla F působící proti síle F_1 a kratší doba pro vybavení kontaktů. U tohoto typu zámku se zároveň s pohyblivým kontaktem uvádí do pohybu i ruční ovládací páka.

Volnoběžky ze dvou vzpěr



Obr. 4.- Zobrazení principu funkce volnoběžek ze dvou vzpěr[2]

V zapnuté poloze jsou oba systémy v prolomené poloze, viz Obr. 4. Vypínací síly působí na kloub mezi pákami 1 a 2, vypínací pružina V v okamžiku zapůsobení oddaluje kontakty. Páky 3,4 zůstávají prolomeny a ovládací páka zůstává v poloze zapnuto (nahoru). Signalizace „vypnuto automaticky“ musí upozornit obsluhu na stav jističe. Pro zapnutí jističe je nutno ovládací páku stlačit dolů a znovu natáhnout nahoru do polohy zapnuto. Při ručním vypnutí je třeba páku stlačit dolů, čímž se vypnou páky 3,4 a páky 1,2 zůstávají v zapnuté poloze. K natažení stačí nyní jen ruční páku 4 přemístit do polohy nahoře. V případě zapnutí do zkratu budou vybaveny vypínací silou F_V páky 1 a 2 aniž by byly ovlivňovány dobou držení zapínací páky 4.[1,2]

2.2.5 Pružiny

Pružiny se používají jako součást pohonu k vyvozování síly kontaktů a zajišťování polohy západkových mechanismů. Mezi základní vlastnosti pružiny patří, že jejich velikost vyvozované síly je úměrná deformaci pružiny. Nejčastěji jsou pružiny válcové, ploché a pružiny z barevných kovů.

Válcové pružiny používáme v místech, kde se požaduje velký zdvih. Je možné s nimi vyvodit síly ve velkém rozmezí. Ploché pružiny se používají jen pro malé síly a malé průhyby. Pružiny z barevných kovů dávají při stejném zatížení a rozměrech průhyb až 2krát větší než pružiny ocelové. Mezi výhody barevných pružin patří menší elektrický odpor, větší odolnost proti korozi a snadná výroba.[1,2]

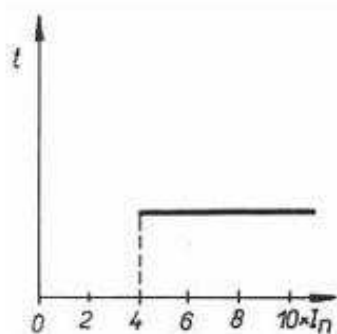
2.2.6 Spoušť

Spoušť je zařízení skládající se z proudové dráhy (vinutí) a z mechanismu. Mechanismus spouště se uvádí do provozu elektromagnetickým, nebo tepelným působením proudu a vypíná zámek, nebo volnoběžku jističe, převyší-li proud obvodu určitý násobek jmenovitého proudu. Rovněž klesne-li napětí obvodu pod určitou hodnotu.

Elektronické spouště umožňují velký rozsah nastavení vybavovacích proudů a dob od počátku změny sledovaného parametru, do okamžiku vypnutí v závislosti na velikosti proudů, neboli vypínacích charakteristik jističů.

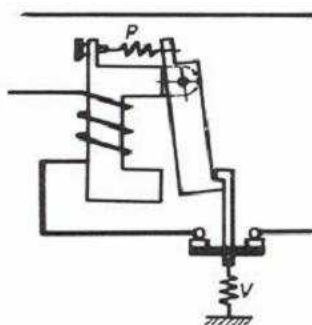
Na jističích se setkáváme v podstatě se spouštěmi elektromagnetickými a tepelnými. Elektromagnetická spoušť je spoušť s charakteristikou na proud nezávislou, které také říkáme mžiková či zkratová. Spouště tepelné mají naopak výhradně charakteristiku proudově závislou.

Elektromagnetická spoušť



Obr. 5. – Nezávislá charakteristika elektromagnetické spouště[2]

Společným znakem všech druhů elektromagnetických spouští je skutečnost, že po změně proudu dávají vypínací impuls za dobu velmi krátkou a téměř konstantní. Taková charakteristika je nazývána jako nezávislá, viz Obr. 5.

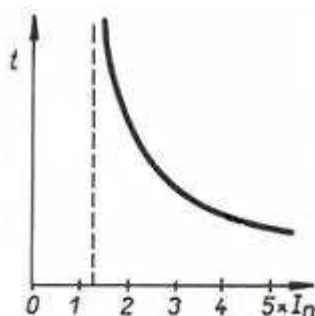


Obr. 6. – Elektromagnetická spoušť[2]

Princip činnosti mžikové spouště je uveden na obrázku, viz Obr. 6. Proud jistěného obvodu prochází cívkou spouště. Kotva spouště zastává funkci zámku a drží kontakty proti tahu vypínací pružiny V v zapnutém stavu do okamžiku, kdy obvodem začne procházet tak velký proud, že tah elektromagnetu překoná tah pružiny P. Kotva přitáhne, kontakty odpadnou, obvod se přeruší a kotva rovněž odpadá.

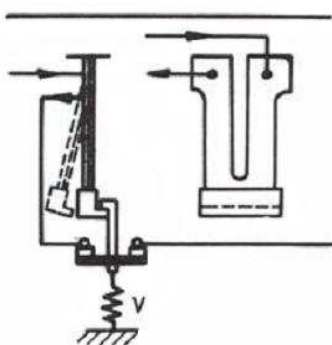
Tepelná spoušť

Tepelné spouště pracují zpravidla na principu bimetalu (dvojkovu). Princip bimetalu je založen na nestejně roztažnosti dvou plošně pevně spojených kovů. Zahříváním těchto kovů, ať už vlastním průchodem proudu, nebo jiným tepelným článkem, dochází k odlišnému roztahování se jednotlivých kovů. Pásek z těchto kovů se prohýbá na stranu kovu s menší tepelnou roztažností.



Obr. 7. – Závislá vypínací charakteristika[2]

Tepelné spouště vykazují různou dobu působení při jednotlivých proudtech. Je jim tedy vlastní proměnné časové zpoždění mezi okamžikem vzniku nadproudu a okamžikem vypnutí, které závisí na velikosti proudu. Tato charakteristika se nazývá závislá vypínací charakteristika, viz Obr. 7. Čím větší je přetížení, tím kratší je zapůsobení. Toto přesně odpovídá filozofii jištění, neboť zařízení vydrží malé přetížení dlouhou dobu, zatímco velké přetížení jen krátce. Ideální stav jisticího zařízení by nastal, kdyby oteplovací křivka jisticího členu měla stejný průběh jako oteplovací křivka jištěného zařízení.



Obr. 8. – Princip tepelné spouště[2]

Ve studeném stavu drží pásek z dvojkovu tvaru U kontakty proti pružině v sepnutém stavu. Po vyhřátí nadproudem dojde k jeho průhybu, uvolnění západky a vybavení kontaktů. Toto je příklad přímotopného článku s oběma přívody pevnými. U jednoduchého pásku pak musí být přívod ke konci. Tento přívod zajišťuje pohyb, který je proveden ohebným přívodem.[1,2]

2.3 Zhášedla

Každý jistič je schopen vypnout při daném napětí jen proud určité velikosti. Krajiní proud, který ještě spolehlivě vypne, určuje jeho vypínací schopnost. Nazýváme jej jmenovitý vypínací proud jističe. Jistič má za úkol vypínat proudy všech velikostí, od nejmenšího až po jmenovitý vypínací proud.

Vypínací schopnost jednoduché kontaktní soustavy v normálním prostředí je poměrně malá, jedná se o několik desítek nebo stovek ampérů, záleží na velikosti napětí. Potřebné zvětšení dosáhneme, změníme-li vzduch za jiné prostředí např. olej nebo plyn.

Většího vypínacího proudu při současném zkrácení doby hoření oblouku dosáhneme jen pomocí zhášedel. Zhášedlo je zařízení, které vhodným způsobem působí na oblouk tak, aby i při velkých proudcích uhasnul během jedné, maximálně během několika málo setin sekundy. Zhášedla pracují na základě různých principů, ale finálním účelem každého zhášedla je intenzivní deionizace dráhy oblouku.

Konstrukční provedení jističe je určeno typem použitého zhášela. Jističe stejných parametrů, kde jsou použité různé typy zhášedel, jsou konstrukčně více rozdílné, než jističe, které mají rozdílné parametry, ale stejný typ zhášela.[1,2]

2.4 Výzbroj

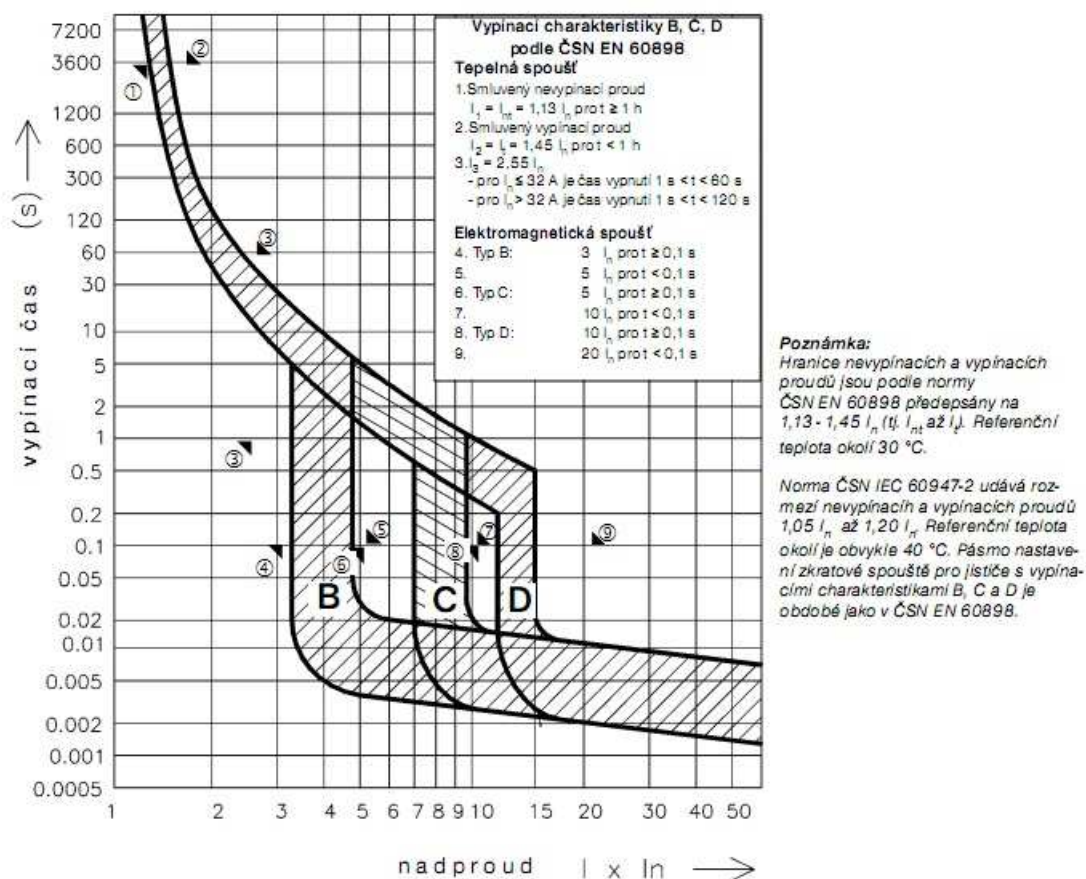
Vlastní jistič můžeme v řadě případů, pro rozšíření jeho činnosti, doplnit různými přídatnými přístroji a zařízeními. U některých případů lze funkční část brát jako neoddělitelnou součást vypínače, v jiných případech je tato část výzbrojí. Výzbroj se rozumí ta část, která není potřebná pro vykonávání základní funkce jističe, znamená jen určité doplnění a rozšíření. Elektromagnet, který může mít funkci dálkově ovládané spouště, nebo zapínacího mechanismu k jističi, lze dodat na popud zákazníka. Výzbroj patří do jističe, i když jistič může vykonávat i bez těchto doplňků svoji základní činnost.

Mezi výzbroj patří:

- a) pomocné signální kontakty sloužící k signalizaci stavu
- b) dálkové (elektromagnetické) spouště
- c) přímé nadproudové spouště nebo spouště podnapětové
- d) dálkové pohony ruční nebo strojní
- j) různé druhy krytů.[1,2]

2.5 Vypínací charakteristika jističe

Vypínací charakteristikou jističe rozumíme průběh závislosti doby, za kterou jistič vypne a na velikosti nadproudu. Pojmem nadproud se rozumí každý proud, který je vyšší než jmenovitý proud I_n tj. přetížení nebo zkrat.[9]



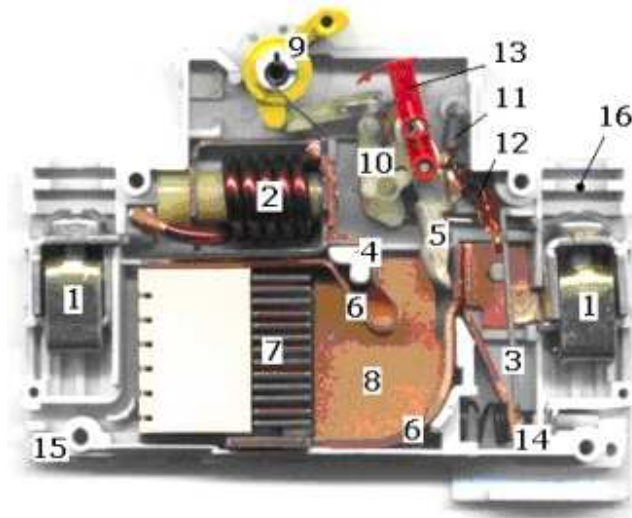
Obr. 9. - Vypínací charakteristika jističe[9]

B - se zařízeními, které nezpůsobují proudové rázy (jištění vedení)

C - se zařízeními, které způsobují proudové rázy (žárovkové skupiny, vedení s motory)

D - se zařízeními s vysokými proudovými rázy (transformátory, 2-pólové motory)

2.6 Konstrukční popis jističe



Obr. 10. – Vnitřní provedení jističe

1. Připojovací svorky
2. Zkratová elektromagnetická spoušť
3. Tepelná spoušť
4. Pevný kontakt
5. Pohyblivý kontakt
6. Výběhová dráha oblouku (zhášecí růžky)
7. Kovová roštová zhášecí komora
8. Izolační keramická podložka proti opalu obloukem
9. Hlavní ovládací páčka
10. Zapínací a vypínací mechanismus jističe
11. Hlavní vypínací pružina
12. Pletené vodivé lanko
13. Indikace stavu (zapnuto, vypnuto)
14. seřizovací systém (šroub +pružina) tepelné spouště
15. Otvory pro výstup horkých plynů
16. Izolační plastový kryt a základna jističe

3 Teorie zkratu

3.1 Typy zkratu

Zkrat patří k nejrozšířenějším poruchám v elektrizační soustavě. Zkratem v síti tedy rozumíme elektromagnetický přechodný děj, který vznikne spojením dvou vodičů s různým napětím, nebo se zemí v soustavě s uzemněným uzlem. Takto dochází ke vzniku zkratových proudů.

K hlavním příčinám vzniku zkratu patří poruchy izolace. Tyto poruchy izolace mohou být způsobeny přepětím, úderem blesku, opotřebením izolačních materiálů, nebo přímým poškozením venkovního vedení a kabelů.

Při zkratu dochází ke zmenšení celkové impedance, nebo –li dochází ke zvětšení proudů. Nastává snížení napětí v místě zkratu, nebo v místech blízkých zkratu. Zkratový proud dosahuje hodnot v rozmezí tisíců až desetitisíců ampér a svými dynamickými (silovými) a tepelnými účinky ohrožuje všechny prvky instalace a elektrizační soustavy, kterými protéká.

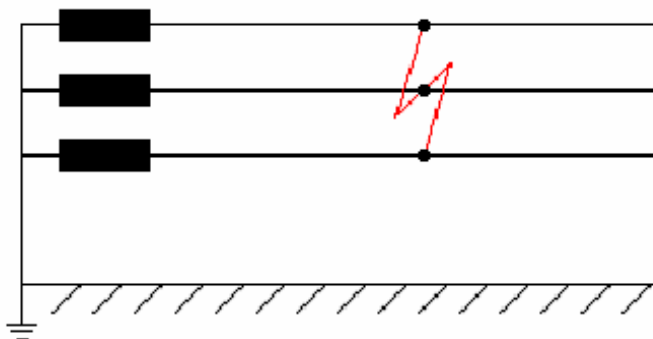
Jestliže se jedná o postižení zkratem, kde se jedná o všechny tři fáze, mluvíme o zkratu souměrném – trojfázovém. Souměrný zkrat nastává, jestliže ideálně spojíme všechny tři vodiče (fáze). U venkovních vedení se trojfázový zkrat vyskytuje poměrně zřídka, ale v kabelových sítích se jedná o nejčastější výskyt zkratů.

Veškeré ostatní zkraty pojmenováváme jako nesouměrné.

Jedná se tyto zkraty:

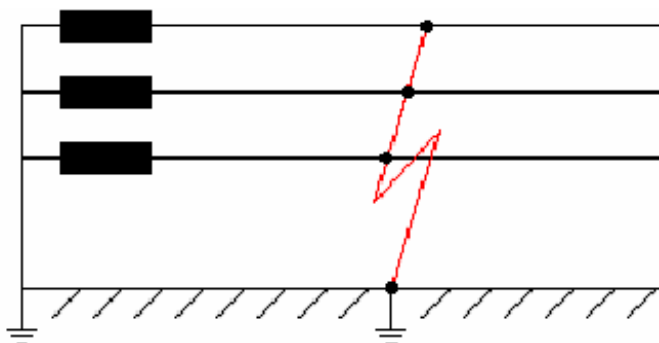
- a) dvoufázový zkrat
- b) dvoufázový zemní zkrat
- c) jednofázový zkrat

- trojfázový zkrat – tento zkrat vzniká propojením všech fází elektrické sítě v jednom uzlu,



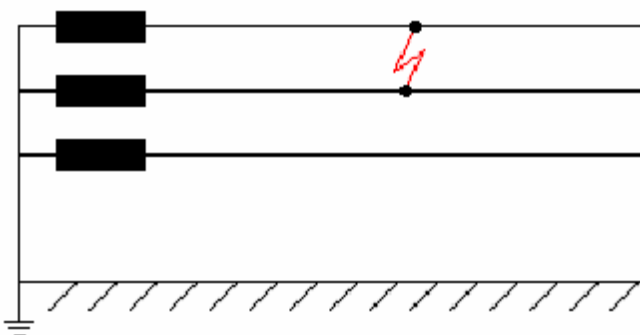
Obr. 11. – Trojfázový zkrat[5]

- trojfázový zemní zkrat – tento zkrat vzniká propojením všech fází v jednom uzlu a zároveň propojení se zemí,



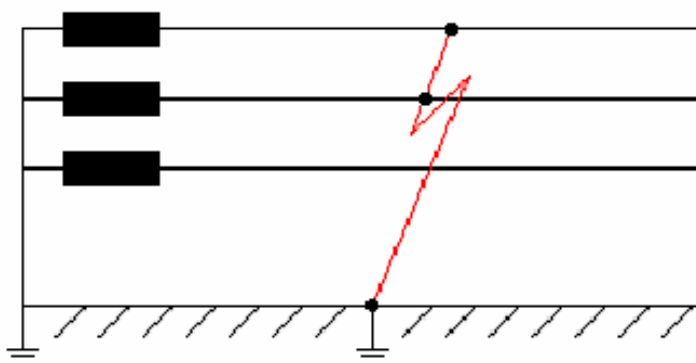
Obr. 12. – Trojfázový zemní zkrat[5]

- dvoufázový zkrat – tento zkrat vzniká propojením dvou libovolných fází v jednom uzlu,



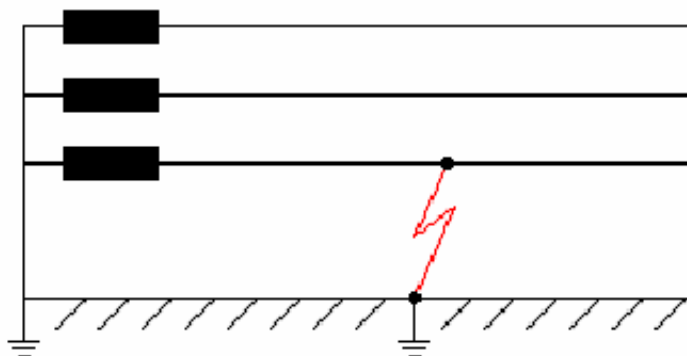
Obr. 13. – Dvoufázový zkrat[5]

- dvoufázový zemní zkrat – tento zkrat vzniká propojením dvou libovolných fází v jednom uzlu a zároveň propojením se zemí,



Obr. 14. – Dvoufázový zemní zkrat[5]

- **jednofázový zkrat** – tento zkrat vzniká, jestliže dojde k náhodnému nebo úmyslnému vodivému spojení mezi vodičem a zemí v soustavě s uzlem uzemněným přímo nebo s uzlem připojeným přes malou impedanci[3,5,10]



Obr. 15. – Jednofázový zkrat[5]

3.2 Zkraty ve střídavých obvodech

Zdrojem zkratového proudu je zejména napájecí síť (nadřazená soustava). Po určitou dobu jím ale také mohou být připojené asynchronní a synchronní stroje (alternátory, motory, kompenzátory).

Pokud lze zanedbat příspěvky zkratového proudu od asynchronních a synchronních strojů, jde o elektricky vzdálený zkrat. Nelze-li je zanedbat, jde o elektricky blízký zkrat. V distribučním a domovním rozvodu je možné příspěvky zanedbat. A to v mnoha případech platí také pro průmyslové rozvody.[12]

3.2.1 Průběh a parametry zkratového proudu elektricky vzdáleného zkratu

Obecný průběh zkratového proudu se skládá ze dvou základních složek. Ze složky stejnosměrné a souměrně střídavé. Složka stejnosměrná se časem zmenšuje a složka souměrně střídavá, která kmitá okolo složky stejnosměrné, má efektivní hodnotu konstantní, Obr. 16. Počáteční velikost stejnosměrné složky určuje okamžik, kdy zkrat vznikne. Největší hodnota u této složky bude, pokud zkrat vznikne ve stejnou chvíli, kdy napětí prochází nulou a zkratový proud dosáhne své největší vrcholové hodnoty i_p .

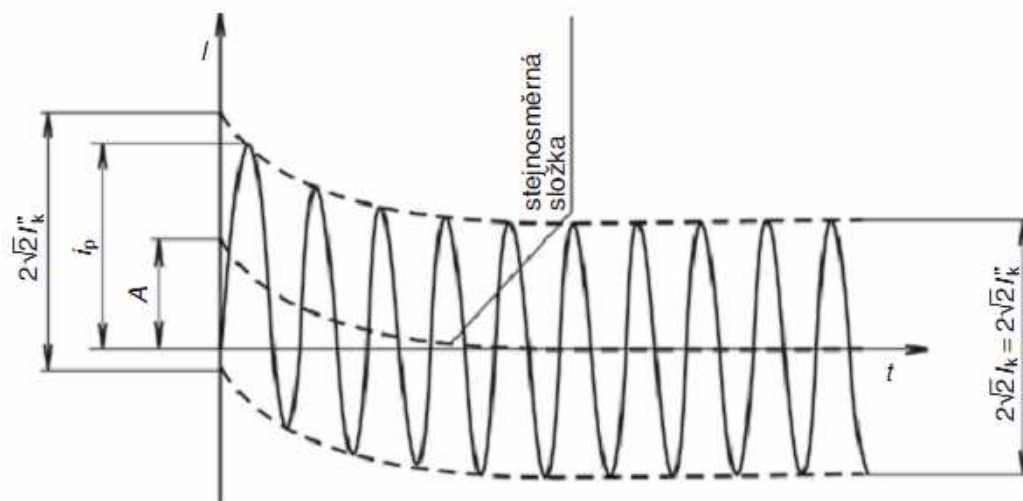
Zkratové proudy jsou charakterizovány podle normy ČSN EN 60909. Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách:

I_k – ustálený zkratový proud

I_k'' – počáteční souměrný rázový zkratový proud

I_p - nárazový zkratový proud

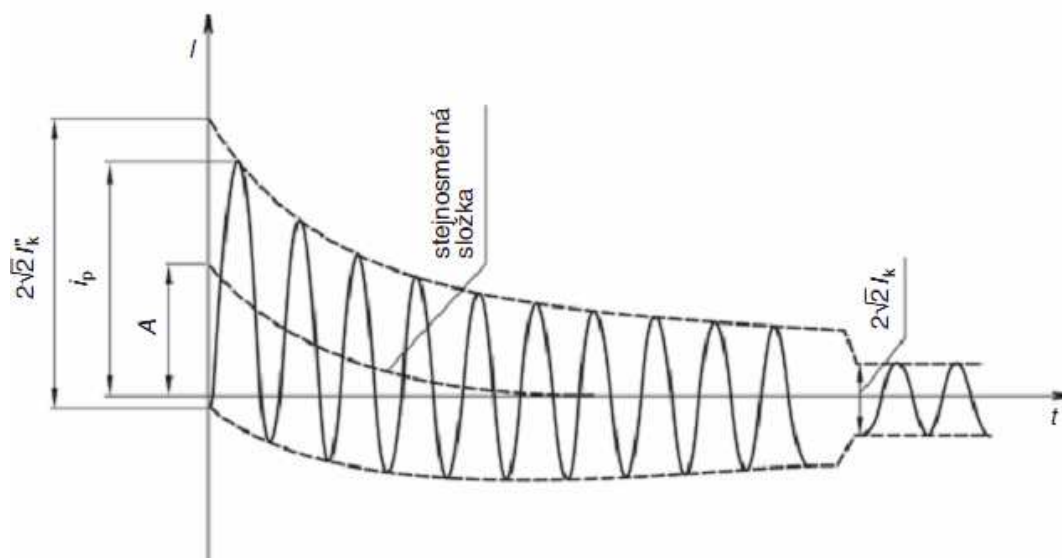
A – počáteční hodnota stejnosměrné složky zkratového proudu



Obr. 16. – Průběh zkratového proudu elektricky vzdáleného zkratu[12]

3.2.2 Průběh a parametry zkratového proudu elektricky blízkého zkratu

Při elektricky blízkém zkratu není souměrná střídavá složka zkratového proudu konstantní.



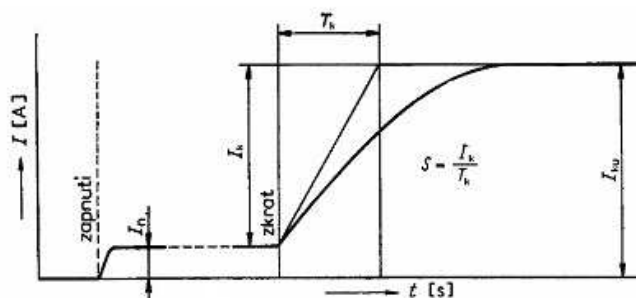
Obr. 17. – Průběh zkratového proudu elektricky blízkého zkratu[12]

3.3 Zkraty ve stejnosměrných obvodech

Od okamžiku kdy vznikne zkrat, se proud zvětšuje exponenciálně, až do ustálené hodnoty I_{su} , která je dána napětím a činným odporem obvodu. Časová konstanta narůstání proudu T_s je závislá na velikosti indukčnosti obvodu. Tato indukčnost může dosahovat poměrně velkých hodnot. Mírou narůstání proudu je strmost daná poměrem:

$$S = \frac{I_K}{T_K} \quad (3.1)$$

Speciální vypínače na stejnosměrný proud (tzv. rychlovypínače) jsou upraveny tak, že vybavovací spoušť těchto speciálních vypínačů nereaguje na velikost zkratového proudu, ale na jeho strmost. Tímto docílíme vypínání vypínače dříve, než dosáhne maximální hodnoty. [11]



Obr. 18. – Průběh stejnosměrného proudu při zkratu[11]

3.4 Důvody vzniku zkratu

Dokonalý zkrat se vyskytuje velice zřídka. Ve většině případů je způsoben zapomenutým kovovým náradím na přípojnících (živých částech) nebo poškozením kabelu kovovým předmětem (bagrem, sbíječkou) při výkopových pracích. Ve většině případů se přemění v obloukový zkrat.

Typy vzniku zkratu :

- Selhání lidského faktoru – nedostačující manipulace v určitých elektrických zařízeních. Jedná se např. o vypnutí přípojniového odpojovače při zatížení v rozvodech VN a VVN. Také se může jednat o zanechání cizích předmětů v přístroji, zařízení po opravě, bezpečnostní kontrole nebo předchozí demontáži. Pokud dojde ke zkratu následkem selhání lidského faktoru, jedná se vždy o velice vážné poruchy, které mají ve většině případů těžké následky. Jak pro dané zařízení, tak pro jeho obsluhu.
- Vnější vlivy (lidé, přírodní vlivy, zvířata) – jde o velmi častý důsledek vzniku zkratu. Například překopnutí a přetržení kabelu při zemních pracích všeho druhu nebo o přírodní katastrofy (hurikány, tornáda, povodně, zemětřesení atd.).

- Nedostatečná zkratová odolnost zařízení – nachází se u starších zařízení, které nebyly rekonstruovány u soustav s prudkým nárůstem zkratových proudů
- Různé vady zařízení – ve většině případů se jedná o nedokonalou izolaci. Mohlo by k tomu dojít špatným zvolením výrobní technologie (neodpovídající volba materiálů, neodpovídající technologie výroby), nebo z důvodu neodborné montáže (nepředpisové pokládání kabelů, nedodržení správných postupů při montáži kabelových spojek, koncovek atd.).
- Přepětí – atmosférické/provozní - zapříčiní ve většině případů přerušení izolace a následný zkrat. Vznik atmosférických přepětí nastává ve venkovních vedeních elektrostatickou indukcí. Elektrostatická indukce vzniká při výbojích mimo vedení, nebo přímým úderem blesku do vedení. V elektrických zařízeních vznikají také provozní přepětí. Tyto provozní přepětí nastávají při poruchových stavech, zvláštních spínacích pochodech, okamžité ztrátě zatížení a také při nesouměrných stavech. Dále musíme vzít v potaz přepětí, která nastávají vlivem rezonančních stavů v elektrické soustavě. [4,13]

3.5 Následky zkratů

Zkrat se v elektrických zařízeních projevují častými nežádoucími následky. Tyto následky ohrožují bezpečnost provozu elektrizační soustavy, samostatnou bezpečnost zařízení a zároveň ohrožují bezpečnost pracovníků. Při dimenzování přístrojů v elektrizační soustavě je nutné brát ohled jak na provozní poměry, tak na poměry v okamžiku zkratu. Takto docílíme omezení následků pouze na neodstranitelné jevy.

Zkratové proudy se vyskytují na sousedním vedení a jsou projeveny indukčními účinky, zejména slaboproudé, sdělovací a jisticí. V okolí popisovaných vedení se může indukovat značné napětí, zvláště pokud se zkratový proud vrací zpátky k zemi. Tento jev se vyskytuje jak u zkratů jednofázových a dvoufázových zemních tak i simultánních.

Přepětí – v důsledku vypnutí zkratových proudů se v rozvodech nachází přepětí, které dosahuje hodnoty dvojnásobku U_n .

Obloukový zkrat v praxi může vzniknout ve všech případech. V rozvodných zařízeních dochází k obloukovému zkratu zpravidla špatnou manipulací s odpojovači. Musíme mít na paměti, že takové počínání může vést k ohrožení osob. Účinky elektrického oblouku jsou zapříčiněny zářením a tlakem, který vzniká při hoření el. oblouku.

Dynamické síly vznikají elektromagnetickým působením proudů v sousedních vodičích a jsou jim přímo úměrné. Největší silový ráz zapříčiní první amplituda zkratového proudu tzv. nárazovým zkratovým proudem. Zkratový proud nabývá velkých hodnot. Klidně může dojít ke zničení elektrických zařízení. Proto bychom měli elektrické přístroje správně dimenzovat, aby těmto dynamickým silám odolávaly zcela bezpečně.

Tepelné účinky jsou u špatně dimenzovaných zařízení velice ničivé. Pokud obvodem prochází zkratový proud, začínají se všechny části obvodu velmi rychle oteplovat na tepelnou energii, která není pro daný obvod ideální. Dochází k nežádoucím účinkům na elektrizační soustavě. Jelikož nelze teplo, které vzniklo při zkratu odvést do okolí, vzniká předčasné stárnutí izolace strojů, přístrojů a vodičů.

Výše popsané následky zkratových proudů jsou velmi závažné, jelikož působí na elektrickou soustavu současně. Můžeme tyto zkraty omezit tak, že omezíme zkratové proudy. Jestliže nastane zkrat, nejsme schopni jej zrušit. Dimenzováním elektrických zařízení a rozvodů můžeme potlačit tepelné, dynamické a přepětové účinky. Vznik elektrického oblouku lze do určité míry potlačit dostatečným dimenzováním vodičů a přístrojů, odborně provedenou instalací elektrických přístrojů a zároveň vybráním kvalitních vodičů a přístrojů. Avšak můžeme použít sebelepší přístroje a vodiče, ale radikální lidské selhání nemůžeme potlačit nikdy.[4,13]

4 Jouleův integrál

Energii propuštění do obvodu, která je chráněna jisticím prvkem, vyjadřuje nejlépe Jouleův integrál. Jedná se v podstatě o dobu, kdy zkrat vznikl, až do jeho vypnutí. Lze to nejlépe vyjádřit vztahem v následující podobě:

$$W = \int_0^t R \cdot i^2 dt \quad [4.1]$$

Velkou komplikací při výpočtu je časový průběh zkratového proudu $i(t)$. Jedná se o závislost poměrně složitou, která závisí nejen na parametrech jištěného obvodu a jisticího prvku, ale také na okamžité hodnotě napětí. Jedná se o hodnotu napětí, při které došlo ke zkratu. Dále musíme vzít v potaz hodnotu odporu v obvodu, která při vypínání zkratu nezůstává stejná, teda konstantní a dochází k její změně během vypínání zkratu (R_A - odpor oblouku).

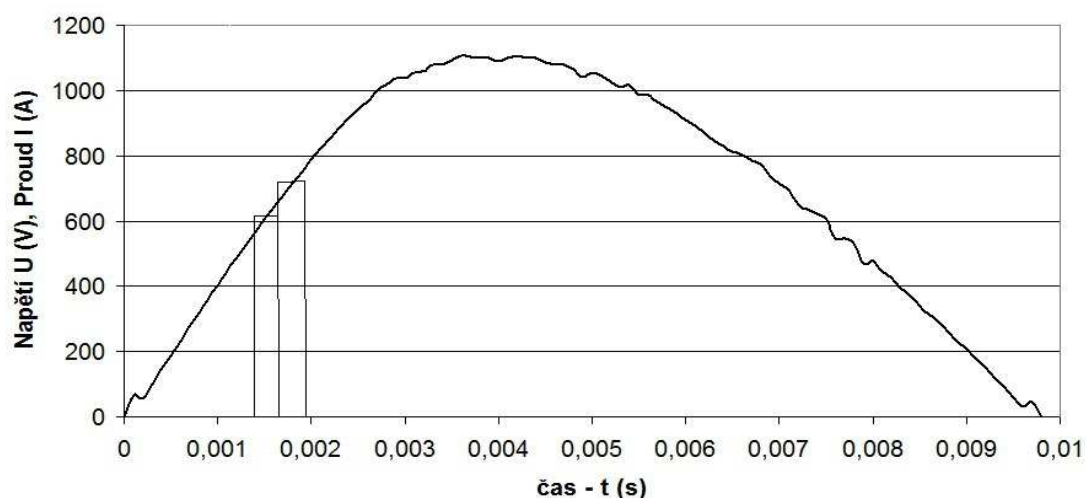
V praxi, zejména technické, se zavedla míra propuštěné energie, která je vyjádřena jako časový integrál okamžité hodnoty, procházející jisticím prvkem (jističem) od okamžiku vzniku zkratu, až do zničení (uhašení) elektrického oblouku (proud prochází nulou). Integrál má následující podobu:

$$I^2t = \int_0^t i^2 \cdot dt \quad [4.2]$$

Ve většině případů je tato podoba integrálu v praxi označována jako I^2t nebo $I2t$. Můžeme ji označit jako Jouleův integrál. Nazýváme ho tak, i když neobsahuje odporovou složku R a výslednou jednotkou není jednotka energie (J), ale čtverec proudu sekunda (A^2s). Jouleův integrál I^2t , udávaný u jisticích přístrojů, značí největší hodnotu, která se může objevit za jisticím přístrojem v době, kdy jsou nejméně příznivé podmínky v obvodu. Ve většině případů je I^2t hlavním kritériem pro správnou volbu jisticího přístroje z hlediska ochrany jištěného zařízení před tepelnými účinky zkratových proudů. Parametr $I2t$ je také důležitý pro správný návrh a nastavení selektivity jištění. [14]

4.1 Příklad výpočtu Jouleova integrálu

Výpočet Jouleova integrálu se provádí pomocí rozdělení půl vlny zkratového proudu na několik malých obdélníků. Jednotlivé obdélníky získáme vynásobením hodnot na ose x s hodnotou na ose y . Jelikož obdélníky svojí plochou zasahují i nad výslednou půl vlnu zkratového proudu, dochází k nepřesnostem výpočtu. Tyto nepřesnosti odstraníme zvýšením počtu obdélníků na ose x , tímto docílíme zmenšení prostoru nad výslednou křivkou proudu a výsledná energie bude přesnější. Zjednodušený příklad rozdělení sinusoidy na malé obdélníky uvádím na Obr. 19.



Obr. 19. – Příklad rozdělení sinusoidy pro výpočet I^2t

K výpočtu Jouleova integrálu pro zkratový proud jsem použil program MS Exel. Naměřené hodnoty zkratového proudu jsem seřadil do jednoho sloupce. Do vedlejšího sloupce bylo vložena hodnota aktuálního času. Po seřazení všech hodnot následovalo vypočtení funkce součin pro každou hodnotu mocninného proudu s příslušnou hodnotou času. Výsledkem tohoto součinu je propuštěná energie do obvodu v daném okamžiku. Jelikož potřebuji celkovou energii propuštěnou do obvodu za danou sinusoidu zkratového proudu, musel jsem provést funkci suma všech propuštěných energií do obvodu za sinusoidu proudu.

5 Technické parametry jističů

5.1 Technické parametry jističe OEZ Minia

Jistič OEZ Minia LPN, Obr. 20., se používá pro domovní, komerční a průmyslové elektrické rozvody do 63 A 230/440 V d.c. Jistič OEZ minia je možné uzamknout a zaplombovat v zapnuté nebo vypnuté poloze dle potřeby. Aby potisk na jističi byl nesmazatelný, je realizován laserem. Manipulace s jističem je velice snadná. Jistič lze propojit s propojovací lištou v horní a dolní části jističe. Plastový kryt vyplňuje prostor pod svorkou a tím zamezí nesprávnému vložení vodiče do svorky. [6]



Obr. 20. – Jistič OEZ Minia LPN

Přehledný seznam parametrů jističe OEZ Minia LPN uvádím v tabulce níže (Tab.2.)

Tab. 1. – Vybrané technické data jističe OEZ Minia LPN

Typ	OEZ Minia LPN
Normy	ČSN EN 60898-1
Počet pólů	1,1+N,2,3,3+N
Vypínací charakteristiky	B,C,D
Jmenovitý proud	0,2÷63 A
Jmenovité pracovní napětí	230/400 V AC/ 60/220 V DC
Max.provozní napětí	253/440 V AC / 66/242 V DC
Min.provozní napětí	12 V AC/DC
Jmenovitý kmitočet	40÷60 Hz
Jmenovitá zkratová schopnost	10 kA
Trvanlivost	mechanická 20 000 cyklů

	elektrická 4 000 cyklů	
Třída omezení energie	3	
Kategorie přepětí (ČSN IEC 664-1)	IV	
Krytí	IP20	
Pracovní podmínky	teplota okolí	-30 ÷ 55 °C
	pracovní poloha	libovolná
	seizmická odolnost	ČSN IEC 980:1993

Čerpáno z: Firemní literatura OEZ Letohrad s. r. o, *Jističe Minia LPN*.

URL: http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/3286-Z01-09_CZ_SK.pdf [cit. 2010-04-24 15:30]

5.2 Technické parametry jističe Merlin Gerin Domae

Tyto jističe, viz Obr. 21., slouží pro ochranu obvodů a spotřebičů proti zkratům a přetížením dle ČSN EN 60 898. Jsou určeny především pro použití v bytových a podobných instalacích.[8]



Obr. 21. – Jistič Merlin Gerin Domae

Přehledný seznam parametrů jističe Merlin Gerin Domae uvádím v tabulce níže (Tab. 3.)

Tab. 2. Parametry jističe Merlin Gerin Domae

Norma	ČSN EN 60 898
Počet pólů	1 a 3
Jmenovitý proud	6 až 40 A (30 °C)
Jmenovité izolační napětí	440 V
Jmenovité impulzní výdržné	4 kV (1,2/50 μs)

napětí	
Jmenovité napětí	230 V (1P); 400 V (3P)
Maximální pracovní napětí	253 V AC
vypínací schopnost dle ČSN EN 60 898	6000 A
Vypínací charakteristiky	B, C
Elektrická trvanlivost	4000 spínacích cyklů
Připojení	svorka pro tuhé vodiče do 25 mm ²
	speciální svorka pro hřebenovou propojovací lištu
Způsob připojení	přívod z kterékoliv strany bez vlivu na vlastnosti a parametry
Utahovací moment svorky	2 Nm
Instalace	na lištu DIN pomocí dvoupolohové západky
Krytí	IP 20; z čela přístroje IP 40
Teplota	referenční 30 °C
	skladovací -40 až +80 °C
Doplňky	hřebenové propojovací lišty
	samolepící symboly

Čerpáno z: Firemní literatura Schneider Electric a.s. , *Modulární jistič Domae*

URL: http://katalog.schneider-electric.cz/dsmapp/data/pdf/CZ/MG1/S528_Domae_katalog.pdf [cit. 2010-04-24 15:30]

5.3 Technické parametry jističe Deopke DLS 6i

Jedná se o jistič, viz Obr. 22., nové generace, který se používá na jištění vedení 10 kA pro standardní a průmyslové aplikace v sítích s vysokými zkratovými výkony.

Oproti staršímu modelu Deopke DLS 5 má model Deopke DLS 6i několik zásadních inovačních rozdílů a vlastností. Jde o ochranu před dotykem hřbetem ruky, moderní funkční design, vysokou kvalitu plastových součástí. Navíc je uzpůsobena horní a dolní strana pro připojení propojovacích lišt. Rovněž okénko je rozšířeno, aby popis dlouhodobého ochranného označení byl kvalitní.



Obr. 22. – Jistič Deopke DLS 6i

Řada jističů Deopke DLS 6i je vhodná pro použití v napájecích obvodech a zařízeních s vysokými zkratovými výkony (drobné provozy a průmysl). Má velice rozsáhlé působení podle vypínacích charakteristik. Tento jistič můžeme použít v libovolném jmenovitém proudu a to v rozsahu od 0,3 A do 63 A. Jistič Deopke DLS 6i je velice snadné uzpůsobit daným nárokům odborné obsluhy nebo elektrizační soustavy.[7]

Přehledný seznam parametrů jističe Deopke DLS 6i uvádím v tabulce níže (Tab.1.)

Tab. 3. – Technická data jističe Deopke DLS 6i

Vypínací charakteristika	B	C	D	K	Z
Použití	Jištění vedení	Jištění vedení a zařízení	Jištění vedení Silové obvody	Jištění vedení Silové obvody Transformátory Motory	Jištění vedení a polovodičů Vysoká impedance
Počet pólů	1-4; 1+N; 3+N				1-3
Předpisy, spínací schopnost (IEC 60898-1, DIN EN 60898-1, VDE 0641-11)	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA
Třída proudového omezení	3-Jan	3-Jan			
Max. předřazená pojistka	Tavná pojistka dle DIN VDE 0636 125 A, provozní třída gL/gG				
Jmenovité napětí AC	230/40 V				
Jmenovité napětí DC	2 póly 125 V při sériovém zapojení obou pólů				
Jmenovitý proudový rozsah In	1-63 A	0,3-63 A	0,3-63 A	0,3-63 A	0,3-32 A
Vypínací charakteristika	B	C	D	K	Z

tepelně přidržet	1,13xI _n	1,13xI _n	1,13xI _n	1,05xI _n	1,05xI _n
tepelně odpojit	1,45xI _n	1,45xI _n	1,45xI _n	1,2xI _n	1,35xI _n
elektromagnet. přidržet	3xI _n	5xI _n	10xI _n	8xI _n	2xI _n
elektromagnet. odpojit	5xI _n	10xI _n	20xI _n	12xI _n	3xI _n
Referenční teplota tepelného odpínače	30°C+5°C			20°C+5°C	
Frekvenční rozsah elektomag. odpínače	16 ² / ₃ až 60 Hz				
Teplota okolního prostředí	-25°C až +55°C				
Skladovací teplota	-40°C až +70°C				
Hloubka přístroje dle DIN 43880	68 mm				
Mechanická životnost	20 000 spínacích cyklů (20 000 zapnutí a 20 000 vypnutí)				
Ochrana proti dotyku	Chráněno před dotykem prsty a hřbetem ruky dle DIN EN 50274				
Izolační skupina dle DIN VDE 0110	C při 250 V AC, B při 400 V AC				
Stupeň krytí EN 60529/ IEC 60529	IP 20				
Odolnost proti otřesům	> 15 g dle DIN EN 60068-2-59 při zatížení I1				
Odolnost proti nárazům	25g 11ms				

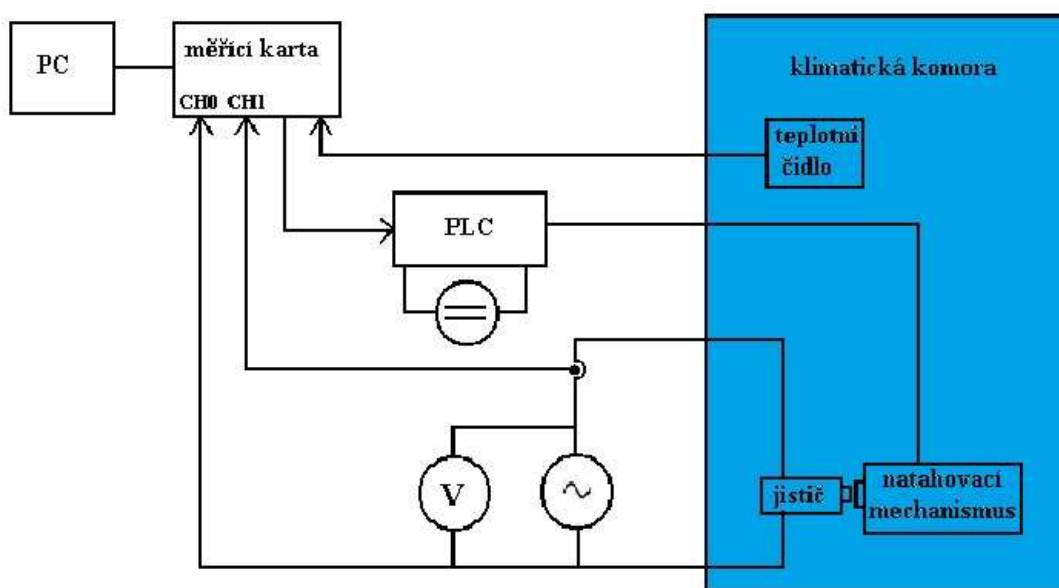
Čerpáno z:] Firemní literatura Elektro – System – Technik s.r.o, *Jističe DLS6 – technická dokumentace*.

URL: http://www.est-praha.cz/obj/files/1/attachment_198_fileinfo.pdf [cit.2010-04-24 15:30].

6 Měření vypínací charakteristiky

Při popisu a vyhodnocování měření neuvádím oficiální názvy jističů. Tyto názvy zde neuvádím proto, aby výrobci nemohly napadnout moji diplomovou práci z klamavé reklamy. Z tohoto důvodu zavádím velice jednoduché značení jističů (Jistič A, Jistič B, Jistič C).

6.1 Popis měření



Obr. 23. – Schéma zapojení[15]

Měření se provádí na předem připraveném zařízení. Testovaný jistič vložíme do klimatické komory, viz Obr. 23., kterou po zavření nastavíme na požadovanou teplotní hodnotu. Nastavení klimatické komory na požadovanou tepelnou hodnotu je docela složité, jelikož se vnitřek komory musí napřed ochladit na nižší teplotu. Po dosažení nižší teploty se vnitřní část klimatické komory začne ohřívat na požadovanou měřicí teplotu. Tento proces trvá přibližně 30 minut a je příliš zdoluhavý. Aby se zabránilo opětovnému nastavování vnitřní teploty, řeší se uvedení jističe do polohy zapnuto/vypnuto pomocí speciálního mechanismu, který je vyroben z motorku pro stěrače u aut. Pokud je v klimatické komoře teplota konstantní, můžeme zapnout zdroj střídavého proudu a nastavit jej na požadovanou jmenovitou hodnotu proudu. Veškeré naměřené hodnoty byly zaznamenávány pomocí programu LabView. V programu LabView se naměřené hodnoty importovaly do textového dokumentu, ze kterého bylo velice snadné tyto hodnoty přenést do programu Excel, kde následně docházelo k vyhodnocování naměřených hodnot a sestavení výsledných grafů.



Obr. 24. – Klimatická komora Vötsch Inustrietechnik VC 4018[15]

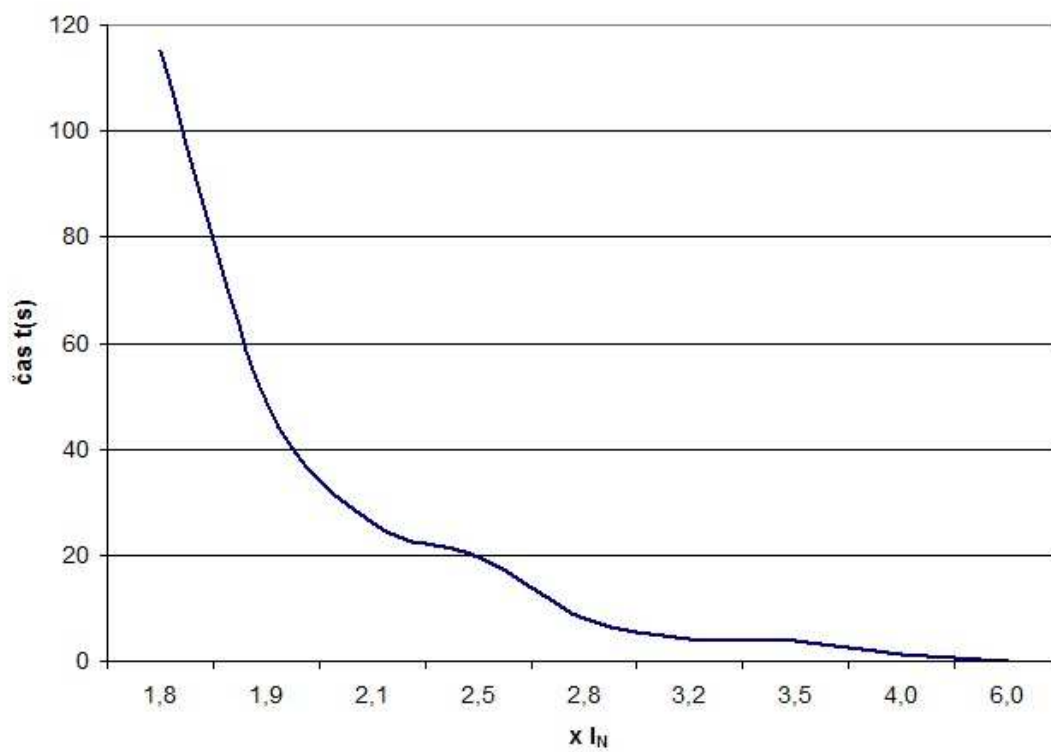
6.2 Měření vypínací charakteristiky

Měření vypínací charakteristiky probíhalo při konstantní teplotě 30 °C, kterou jsme docílili jednotlivým vložením testovaných jističů do klimatické komory. Pro výše uvedenou hodnotu byly přivedeny do jističe rozdílné hodnoty jmenovitého proudu a pozoroval jsem, jak se naměřené hodnoty liší od hodnot uvedených v katalogu výrobce. Také jsem proměřil smluvený nevypínací proud I_{nt} pro $t \geq 1h$ a smluvený vypínací proud I_t pro $t < 1h$. Smluvený nevypínací proud byl 1,13 násobkem jmenovitého proudu, který nesmí vypnout dříve, než za jednu hodinu. Smluvený vypínací proud je 1,45 násobkem jmenovitého proudu, který musí být vypnut do hodiny.

6.2.1 Měření jističe A

Na grafu (Graf 1.) vidíme jak tepelná spoušť pro jistič A vypíná rozdílné násobky jmenovitého proudu. Hodnota vypínacího času, pro daný jmenovitý proud, se shoduje s hodnotami, které jsou uvedené v katalogu. Provedl jsem také měření času vypnutí smluveného nevypínacího proudu a smluveného vypínacího proudu. Tyto dvě hodnoty v grafu (Graf. 1.) neuvádím, protože graf by zkresloval výsledné hodnoty.

Vypínací charakteristika tepelné spouště jističe A

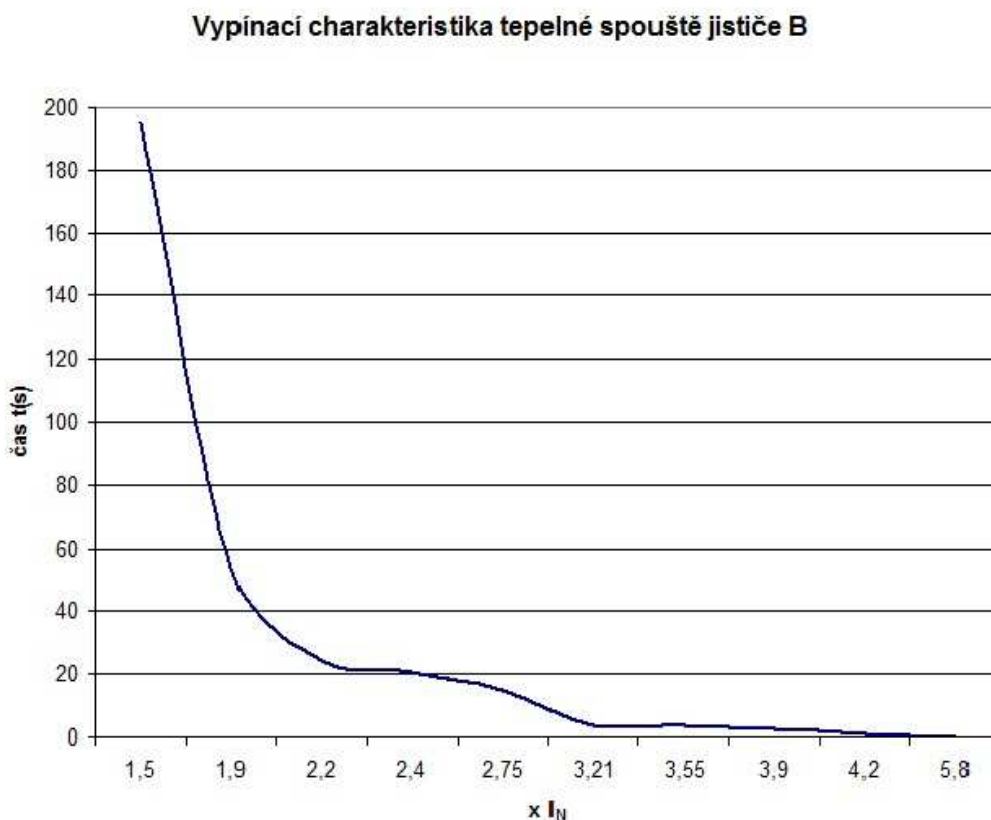


Graf 1. – Vypínací charakteristika tepelné spouště jističe A

Čas vypnutí smluveného nevypínacího proudu	$t = 4380s$
Čas vypnutí smluveného vypínacího proudu	$t = 3180s$

6.2.2 Měření jističe B

Z grafu (Graf 2.) můžeme vyčíst, jak tepelná spoušť u jističe B vypíná při rozdílných násobcích jmenovitého proudu. Hodnoty vypínacího času pro dané proudy z katalogu se shodují s naměřenými hodnotami. Také bylo provedeno měření času vypnutí smlouveného nevypínacího a vypínacího proudu. Výsledné hodnoty nejsou v grafu uvedeny, z důvodu příliš velkého rozmezí mezi výslednými hodnotami.

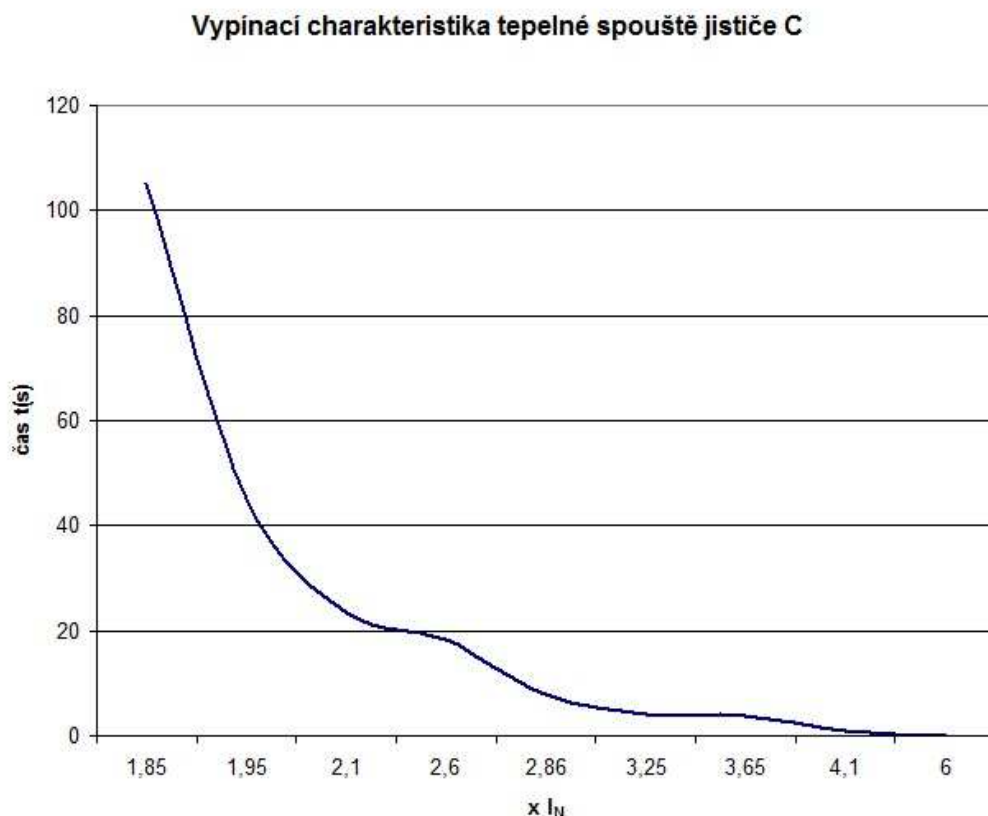


Graf 2. - Vypínací charakteristika tepelné spouště jističe B

Čas vypnutí smlouveného nevypínacího proudu	$t = 4380s$
Čas vypnutí smlouveného vypínacího proudu	$t = 3180s$

6.2.3 Měření jističe C

Graf 3. znázorňuje, jak pracuje tepelná spoušť jističe C při účincích různých násobcích jmenovitého proudu. Z měření jsem zjistil, že katalogové hodnoty v podstatě odpovídají naměřeným hodnotám. Jako u předchozích jističů, tak i u jističe C jsem změřil smluvený nevypínací proud a smluvený vypínací proud. Tyto dvě hodnoty v grafu (Graf. 3.) neuvádím, protože graf by zkresloval výsledné hodnoty.

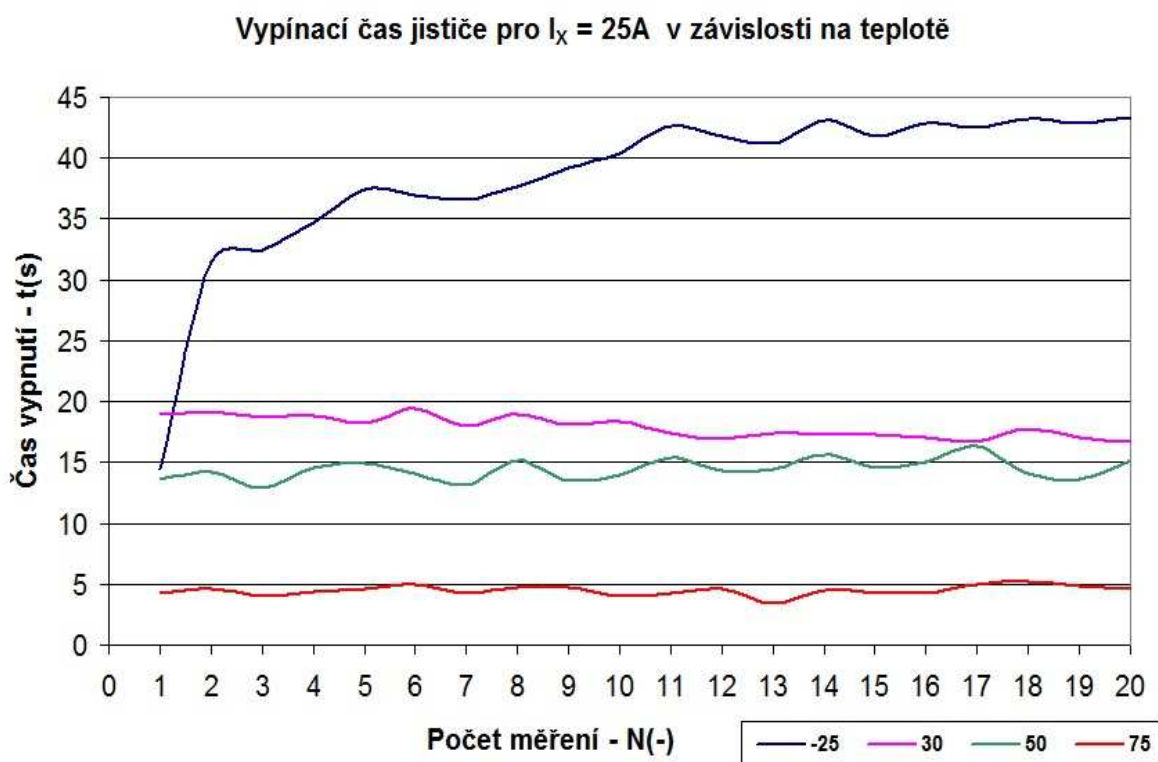


Graf 3. - Vypínací charakteristika tepelné spouště jističe C

Čas vypnutí smluveného nevypínacího proudu	$t = 4610s$
Čas vypnutí smluveného vypínacího proudu	$t = 3000s$

6.3 Ověřování vlivu teploty na jmenovitý proud

Cílem tohoto měření je ověření vlivu teploty na jmenovitý proud u jističů. Měření probíhalo v klimatické komoře, kde byly nastaveny různé teploty pro stejný jmenovitý proud. Po každém odměření je třeba počkat, až se klimatická komora nastaví na další měřenou teplotní hodnotu. Jelikož je tento proces velice zdlouhavý, testoval jsem jenom jeden jistič ze tří zadáných. Vybral jsem jistič A, na kterém bylo provedeno měření. Cílem tohoto měření je zjistit, jak závisí okolní teplota na době, kdy měřený jistič jmenovitý proud vypne. Měření probíhalo pro násobek jmenovitého proudu 2,5. Jističem tedy procházel proud o velikosti 25 A.



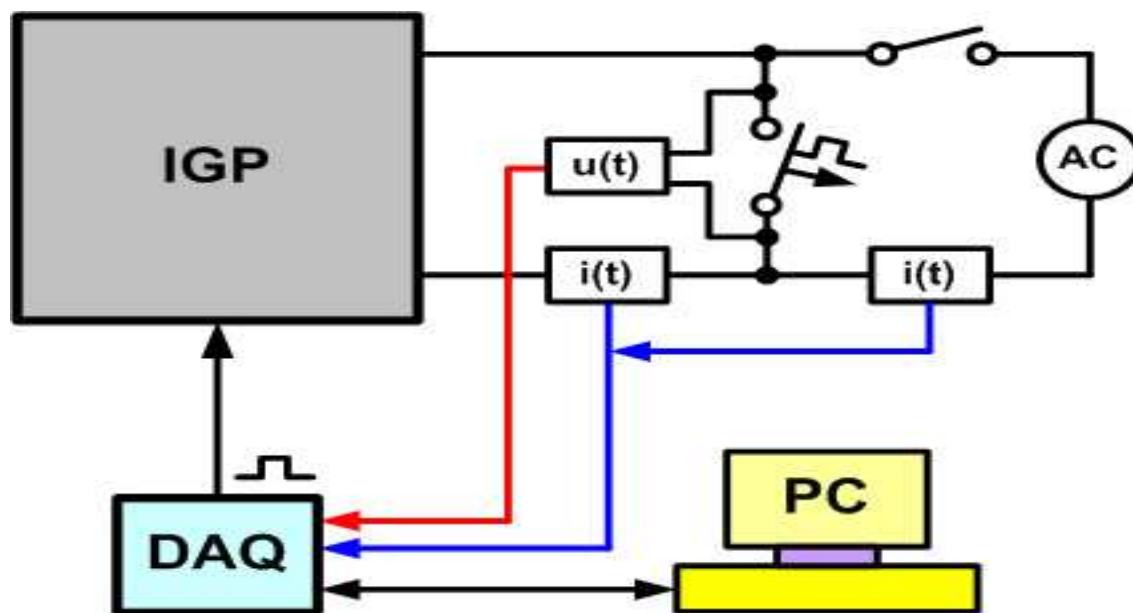
Graf 4. – Vypínací čas pro jistič A v závislosti různých teplot

Z grafu (Graf 4.) jsem zjistil, že okolní teplota ovlivňuje rychlost vypnutí stejného jmenovitého proudu. Čím větší teplota okolí, tím rychlejší vypínání tepelné spouště jmenovitého proudu. V katalogích výrobce je uvedena tzv. tabulka korekce jmenovitých proudů jističe. V katalogích můžeme také najít tabulku pro zapojení jističů vedle sebe.

7 Měření jističů při zkratu

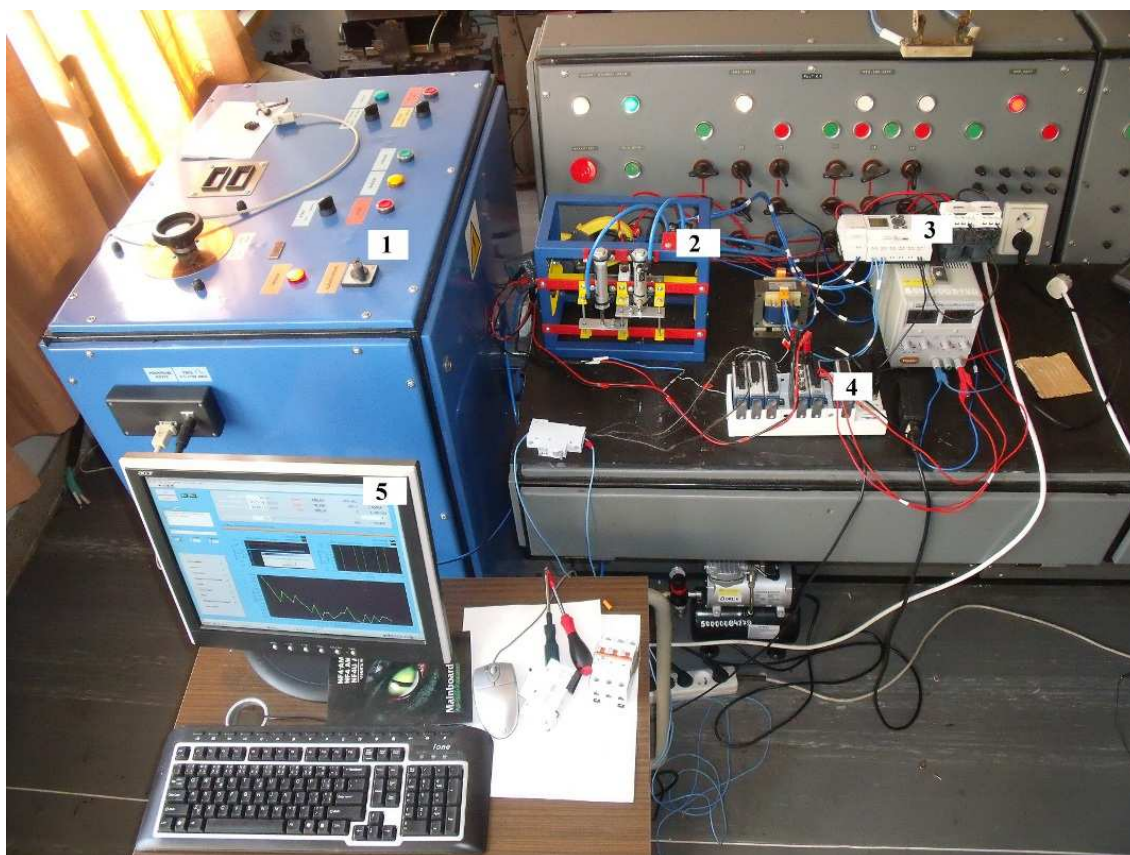
Ve vyhodnocování měření jednotlivých jističů uvedu jen některé příklady výsledných grafů. Jedná se o grafy, při kterých se událo během měření něco zajímavého, například došlo k počátečnímu poškození obalu, elektrický oblouk pronikl mimo jistič, nedošlo k měření atd.

7.1 Popis měřicího zařízení



Obr. 25. – Schéma měření[14]

Impulsní zdroj používáme (1), abychom nezatěžovali elektrickou síť. V impulsním zdroji jsou umístěny kapacitní baterie (8 mF) a svítkové kondenzátory. Aby impuls, který jde ven z impulsního zdroje odpovídal frekvenci sítě 50 Hz, je použita tlumivka. Jedná se v podstatě o vzduchovou cívku. Kabel vzduchové cívky je uložen na dřevěném jádře, aby nedocházelo k ovlivňování magnetického obvodu. Jestliže impulsní zdroj zkratujeme na svorkách, dostáváme proud o velikosti 1,5 kA.



Obr. 26. – Měřicí pracoviště

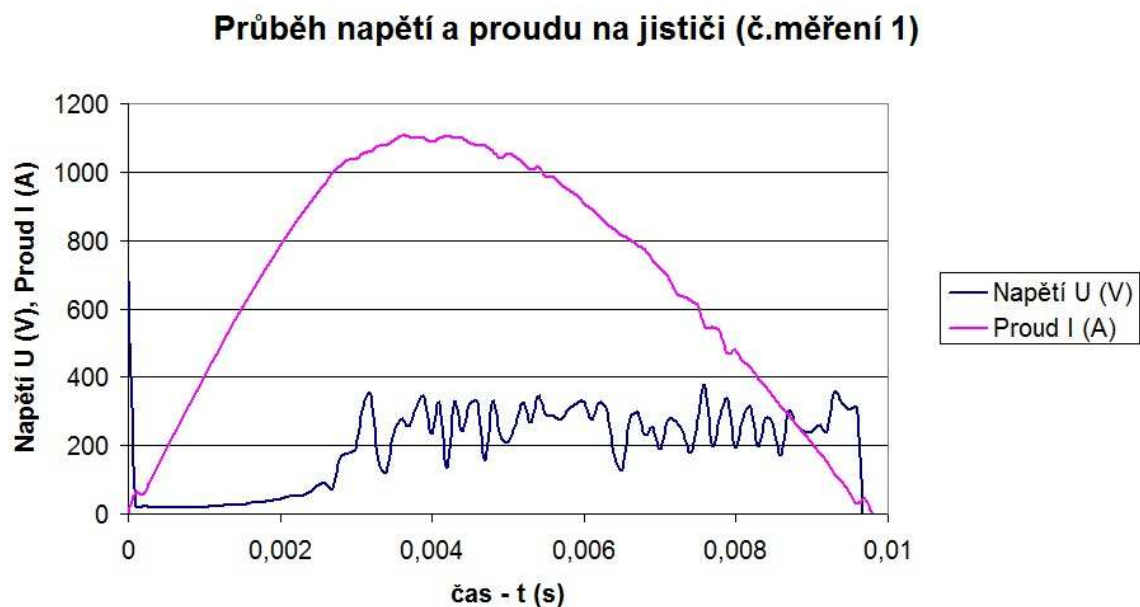
Po sepnutí výstupu generátoru se sepne pohonná jednotka PLC (3), která uvede jistič pomocí automatického pohonného zařízení (2) do stavu sepnuto. Jistič v daný okamžik bouchne a na výstupu z měřicího zařízení (4) se zobrazí data z měření (5). Po změření dat se celý proces opakuje. Dochází k celkovému vybití kondenzátorů, pokud na nich zůstalo nějaké zbytkové napětí. Toto je napětí, které jistič nebyl schopen řádně vypnout. Jakmile jsou kondenzátory řádně vybité, nastává opětovné nabíjení. Celý cyklus měření trvá přibližně 2 minuty, tzn. od bouchnutí jednoho zkratu k dalšímu.

Při každém zapnutí impulsního generátoru dochází k automatickému vybití kondenzátorů z důvodů bezpečnosti měření a bezpečí osob, které dané zařízení obsluhují.

7.2 Měření jističe A

Jistič A jsem zapojil do předem připraveného měřicího zařízení. Po zapojení jističe jsem nastavil na zdroji příslušné maximální napětí $U_{\max}=687,1 \text{ V}$. Zkontroloval jsem automatický systém zapínání a vypínání jističe, jestli jde uvést jistič bez větších problémů do provozu. Jakmile jsem skončil s přípravou měření, spustil jsem v počítači samostatný cyklus měření. Během měření jsem pozoroval výsledné charakteristiky, kontroloval, jestli měřicí zařízení funguje správně a pozoroval co se děje s jističem během vypínání zkratu. Při pokročilých měřeních se dalo pozorovat, jak z jističe uniká elektrický oblouk. Unikání elektrického oblouku je způsobeno poškozením

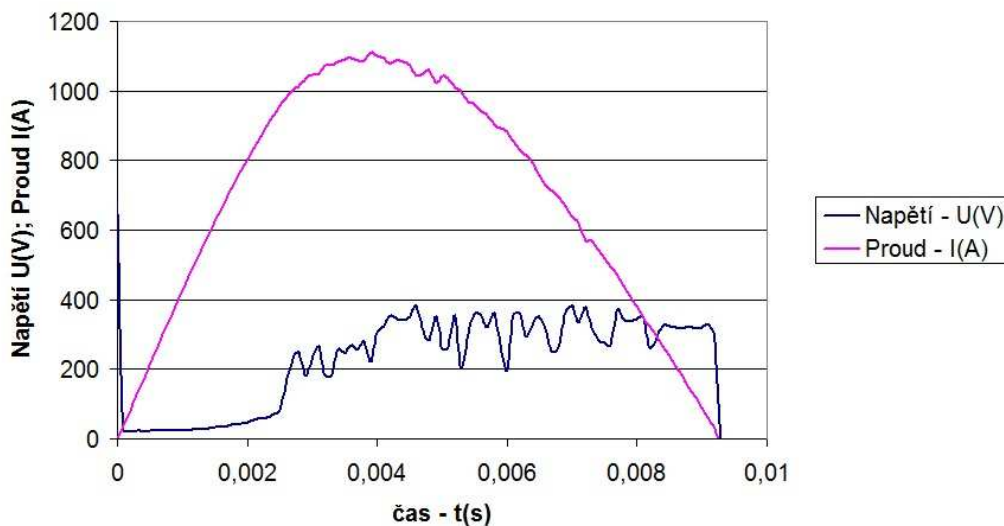
ochranného obalu jističe. Ve většině případů k tomu došlo nedostatečnou funkcí zhášecí komory, která nevydržela plnit svoji funkci.



Graf 5. – Grafický výsledek měření č.1

Na grafu (Graf 5.) je znázorněno měření č. 1. Vidíme jak jistič A zkrat vypnul a na kondenzátorech impulsního zdroje zůstalo jen nepatrné zbytkové napětí $U_{OB} = 135$ V. Jelikož to bylo první měření, jistič vypnul zkratový proud zcela v pořádku. Energie procházející jističem v době zkratu je $W = 1433,4$ J a energie kterou jistič A propustil do obvodu je $I^2t = 5790,6$ A²s.

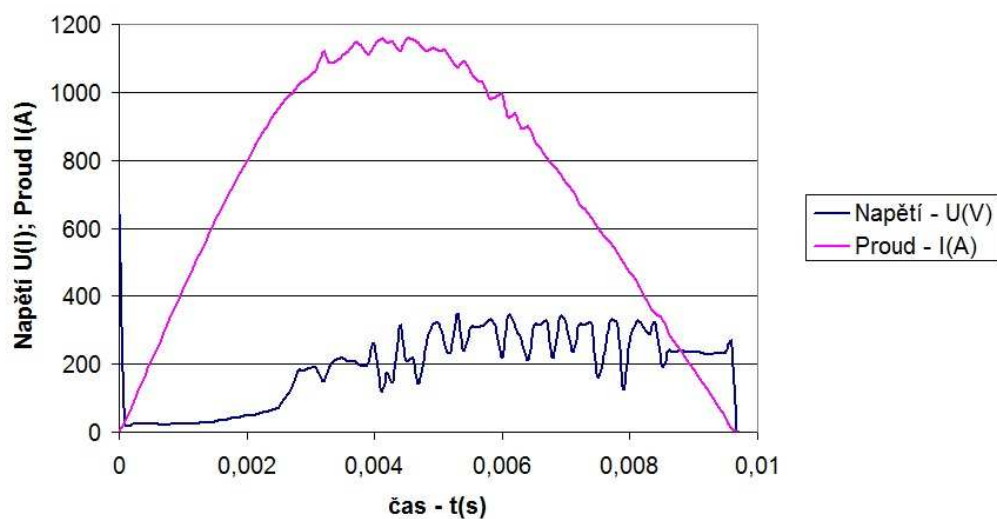
Průběh napětí a proudu na jističi (č.měření 13)



Graf 6. – Grafický výsledek měření č. 13

Na grafu (Graf 6.) lze pozorovat, jak jistič A po 13 měřících cyklech, kdy byl opakovaně vystavován maximálnímu napětí ($U_{\max}=687,1 \text{ V}$) a proudu ($I_{\max}= 1,101,6 \text{ kA}$) plní svoji funkci jako u měření č.1. Sice můžeme pozorovat nepatrné změny oproti měření č.1, ale jistič A i po 13 měřeních plní svoji funkci v rámci možnosti správně. Samozřejmě, kdyby jistič byl zapojen v reálné síti, tak by musel být vyměněn hned po prvním měření. Energie procházející jističem v době zkratu je $W= 1546,2 \text{ J}$ a energie, kterou jistič A propustil do obvodu je $I^2t= 5510,4 \text{ A}^2\text{s}$.

Průběh napětí a proudu na jističi (č.měření 20)



Graf 7. – Grafický výsledek měření č. 20

Na grafu (Graf 7.) vidíme průběh napětí a proudu na jističi po posledním měření. Lze z něj vyčíst, že jistič plní stále svoji funkci, ale nedosahuje hodnot, jako u prvního měření. Výsledná energie na oblouku $W = 1413,5 \text{ J}$ a energie propuštěná do obvodu $I^2t = 6216,2 \text{ A}^2\text{s}$, odvodíme selhání zhášecí komory. Jistič A se působením tepelných účinků začíná přehřívat.



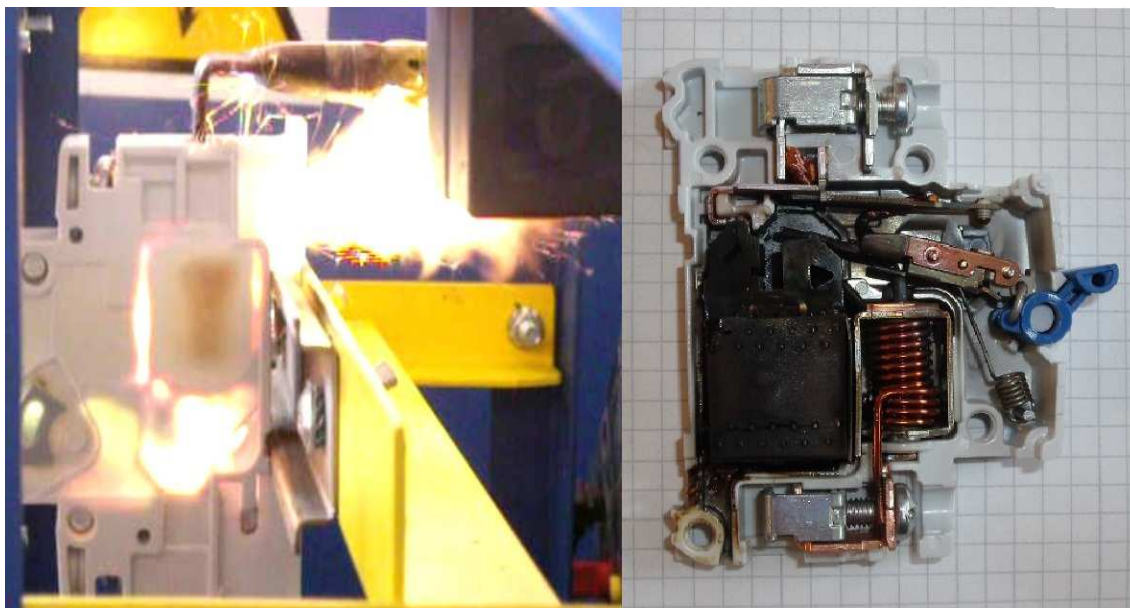
Obr. 27. – Jistič před měřením

Na obrázku, viz Obr. 27., je jistič A zachycen těsně před měřením a není vidět žádné fyzické poškození. Jak vidíme na obrázku, viz Obr. 28., kde jsou na jističi A vidět zcela evidentní důkazy poškození ochranného obalu. Toto poškození je způsobeno nadměrným přehříváním zhášecí komory. První známky fyzického poškození jsem zaznamenal při měření číslo 13. V dalších měřeních se zahřátí zhášecí komory zvětšovalo a spálenina, která vznikla tavením umělohmotného obalu, byla čím dál více zřetelná. Při některých měřeních docházelo k úniku oblouku mimo jistič.



Obr. 28. – Jistič po měření

Na obrázku, viz Obr. 29. – vlevo, vidíme jistič A při vypínání zkratu. Na obrázku je vidět jak elektrický oblouk uniká přes poškozený obal jističe A. Na stejném obrázku, viz Obr. 29. – vpravo, vidíme vnitřní konstrukci jističe A po odměření dvaceti měřících cyklů. Zřetelně vidíme, že některé části jsou zcela degradovány. Převážně se jedná o zhášecí komoru, vstup zhášecí komory a prostor v blízkosti kontaktů. Degradaci způsobily tepelné účinky elektrického oblouku.



Obr. 29. – Jistič A během zkratu a po měření

Tabulka (Tab. 4.) přehledně znázorňuje jednotlivé cykly měření jističe A, energii na oblouku a energii propuštěnou do obvodu.

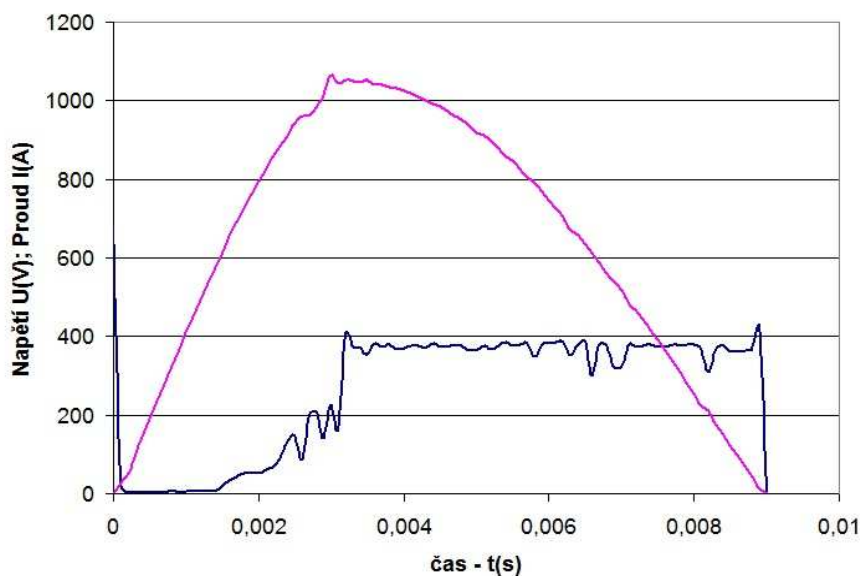
Tab. 4. – Výsledná energie na oblouku a energie propuštěná do obvodu

Počet měření	W	I^2t	Počet měření	W	I^2t
	[J]	[A ² t]		[J]	[A ² t]
1.	1433,441	5790,612	11.	1501,899	5704,38
2.	1562,228	5550,724	12.	1534,099	5676,032
3.	1485,246	5535,63	13.	1546,206	5510,491
4.	1510,759	5445,374	14.	1486,653	5661,664
5.	1594,236	5417,29	15.	1494,711	5693,368
6.	1561,086	5597,752	16.	1484,504	5375,59
7.	1525,694	5351,67	17.	1506,914	5306,224
8.	1606,888	5345,056	18.	1495,371	5693,447
9.	1531,084	5330,45	19.	1488,301	5674,851
10.	1550,45	5403,066	20.	1413,548	6216,28

7.3 Měření jističe B

Příprava měření jističe B probíhala podobně jako u jističe A. Jistič byl zapojen do předem připraveného měřicího zařízení, následovala kontrola správnosti funkce mechanismu, který jistič B uvádí do polohy zapnuto/vypnuto. Jakmile bylo vše připraveno k měření, tak jsem v programu LabView uvedl celý cyklus měření do provozu.

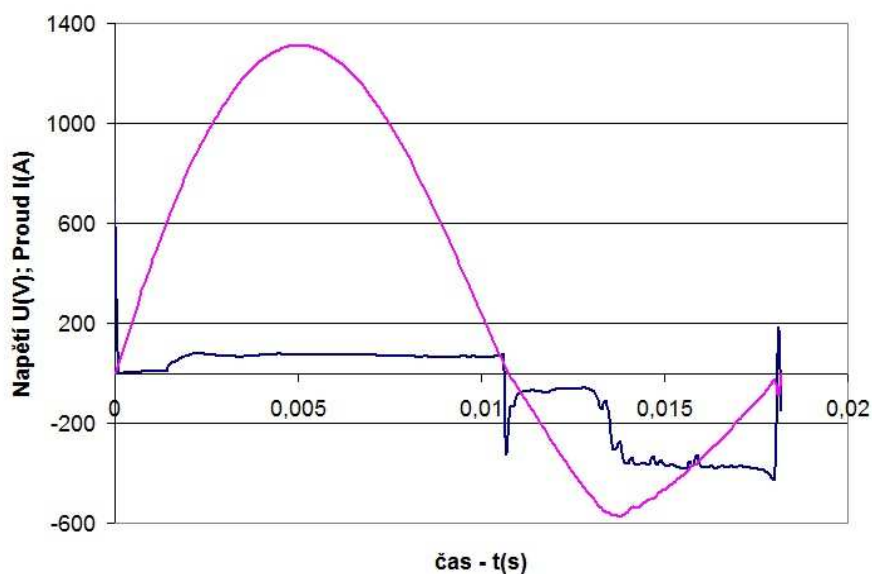
Průběh napětí a proudu na jističi (měření č.1)



Graf 8. - Grafický výsledek měření č. 1

Na grafu (Graf 8.) vidíme výsledné hodnoty po prvním měřicím cyklu. Napětí na oblouku dosahuje cca $U_A = 380$ V. Průběh obloukového napětí se nedopouští větších výkyvů, do té doby, než dojde k uhasnutí oblouku. Energie na oblouku dosahuje hodnoty $W = 1603$ J, energie propuštěná dále do oblouku $I^2t = 4647,8$ A²s. Na těchto hodnotách lze pozorovat, že jistič pracuje správně a plní svoji funkci.

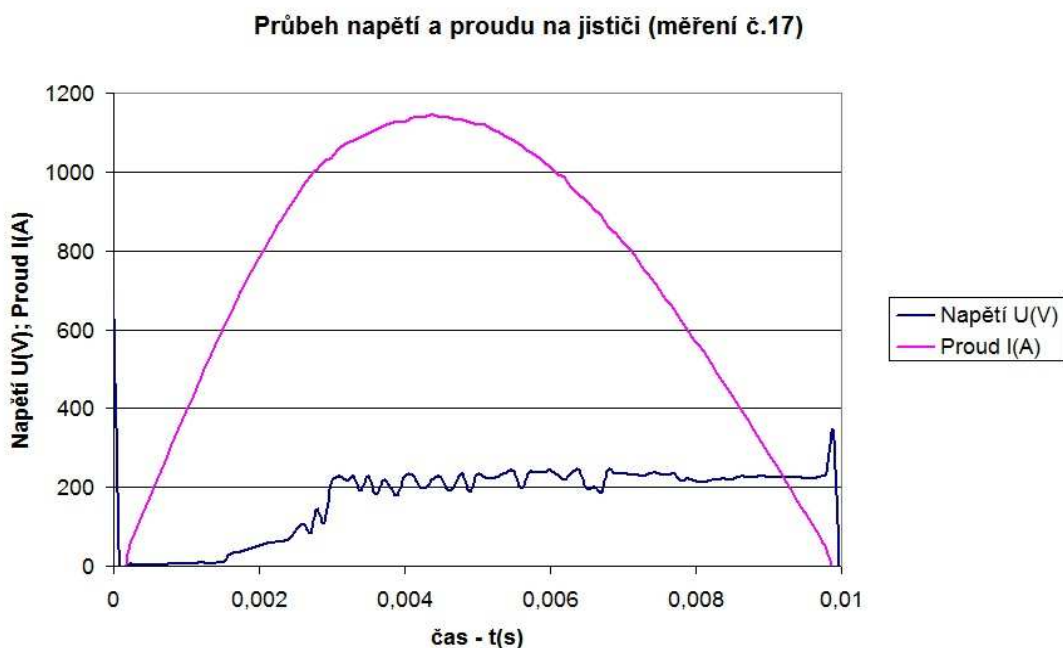
Průběh napětí a proudu na jističi (měření č.2)



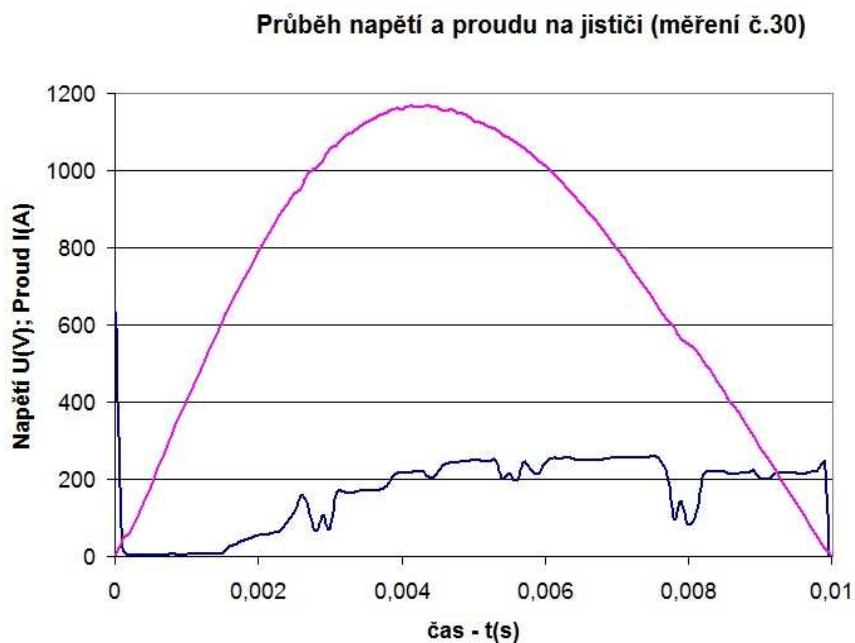
Graf 9. - Grafický výsledek měření č. 2

Při druhém měření jističe B došlo k chybě. Jistič B první půl periodu nevypnul a vypnul až druhou půl periodu, jak je vidět na grafu (Graf 9.). Jelikož zdroj zkratového proudu je řešen impulsním generátorem proudu, druhá půl perioda nedosahuje tak vysokých hodnot proudu jako první půl perioda. Jistič daný zkrat vypnul až v druhé půl vlně. Z vypočtených a zobrazených hodnot energie na oblouku a energie propuštěné do obvodu nelze určit, jestli jistič B funguje správně, nebo došlo k zhoršení jeho vypínacích schopností. Nejsme schopni to určit, jelikož jistič vypínal při podstatně menším zkratovém proudu než v prvním měření.

Z výsledného průběhu měření (Graf 10.) jističe B jsem zjistil, že jistič B neplní svoji funkci, tak jak by měl. Obloukové napětí dosahuje polovičních hodnot jako u měření č.1. Je to způsobeno nedostačující funkcí zhášecí komory. Akorát to symbolizuje, že elektrický oblouk musí někde unikat ven z jističe. Možná došlo k porušení ochranného obalu jističe. Porušení nastává při působení nadměrného ohřívání. Dalším důkazem nedostačujícího plnění své funkce jsou hodnoty energie na oblouku $W = 1315,3 \text{ J}$ a energie propuštěné do obvodu $I^2t = 6497,1 \text{ A}^2\text{s}$.



Graf (Graf 11.) posledního měření ukazuje, že měřený jistič B přestává plnit svoji funkci. Z průběhu proudu se stává plynulá půl vlna sinusoidy, nedochází k žádnému omezení. Napětí na oblouku v počátku hoření oblouku nedosahuje ani $U_A < 200 \text{ V}$. Jakmile oblouk uhasíná, obloukové napětí dosahuje $U_A = 200 \text{ V}$. Energie na oblouku $W = 1295,2 \text{ J}$ a energie propuštěné do obvodu $I^2t = 6562,2 \text{ A}^2\text{s}$.



Graf 11. - Grafický výsledek měření č. 30

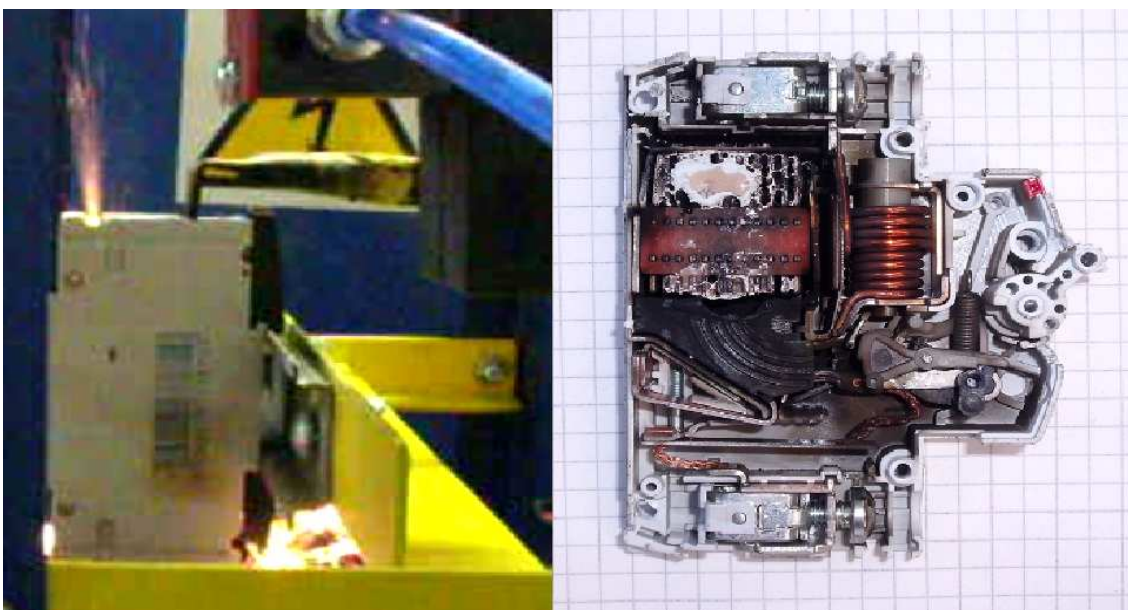


Obr. 30. – Jistič před měřením

Obrázek, viz Obr. 30., zobrazuje jistič B před měřením. Není na něm vidět žádné fyzické poškození. Jistič plní veškeré funkce, pro které je navržen. Na obrázku, viz Obr. 31., lze pozorovat značné poškození ochranného obalu jističe B. Vpravo na obrázku, viz Obr. 31., můžeme vidět kudy unikl elektrický oblouk z jističe do okolí.



Obr. 31. – Jistič po měření



Obr. 32. - Jistič B během zkratu a po měření

Na obrázku, viz Obr. 32. – vlevo, vidíme jistič B při vypínání zkratu. Lze vidět, jak elektrický oblouk uniká skrz připojovací svorky a také přes zničený ochranný obal jističe. Na stejném obrázku, viz Obr. 32. – vpravo, vidíme vnitřní konstrukci jističe B po odměření třiceti měřících cyklů. Můžeme jasně vidět, že některé části jsou zcela degradovány. Převážně se jedná o zhášecí komoru, vstup zhášecí komory a prostor v blízkosti kontaktů. Dále je z obrázku patrné, že se část ochranného obalu přilepila k zhášecí komoře. Došlo k tomu působením tepelných účinků elektrického oblouku. Jednoduše řečeno, obal se natolik zahřál, až se roztavil a během chladnutí se začal lepit na zhášecí komoru.

Tabulka (Tab. 5.) přehledně znázorňuje jednotlivé cykly měření jističe B, energie na oblouku a energii propuštěnou do obvodu.

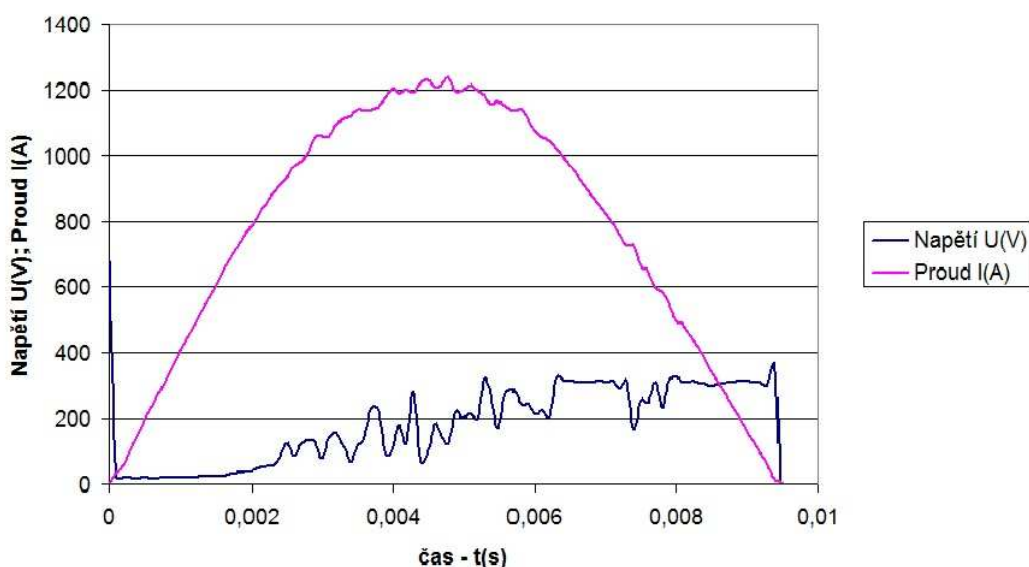
Tab. 5. - Výsledná energie na oblouku a energie propuštěná do obvodu

Počet měření	W	I^2t	Počet měření	W	I^2t
	[J]	[A ² t]		[J]	[A ² t]
1.	1603,197	4647,869	16.	1320,340	6416,833
2.	1227,679	10261,661	17.	1315,383	6497,121
3.	1624,544	4450,695	18.	1312,853	6528,543
4.	1592,392	4711,602	19.	1334,851	6365,575
5.	1597,166	4732,043	20.	1347,382	6387,764
6.	1583,622	4738,312	21.	1389,198	6115,956
7.	1594,084	4576,162	22.	1318,184	6502,195
8.	1547,120	4862,405	23.	1330,435	6406,830
9.	1551,556	5061,213	24.	1323,542	6463,265
10.	1510,788	5461,516	25.	1374,548	6193,215
11.	1479,297	5521,752	26.	1374,548	6193,215
12.	1468,559	5590,375	27.	1295,120	6619,153
13.	1413,252	5993,196	28.	1369,814	6289,754
14.	1312,592	6289,367	29.	1378,163	6191,879
15.	1334,260	6364,416	30.	1295,228	6562,209

7.4 Měření jističe C

Začátek měření je podobný jako u předchozích dvou měření. Po zapnutí impulsního zdroje dochází k vybíjení kondenzátorů.. Jakmile je jistič C připraven k měření zapínám měřicí cyklus. Cílem měření je prozkoumání tepelných účinků na jistič. Jedná se o několikanásobné vystavení jističe C maximálnímu napětí $U_{MAX} = 684,6 \text{ V}$ a proudu $I_{MAX} = 1,196 \text{ kA}$. Během měřících cyklů jsem pozoroval, co se děje s jističem C. Po proběhnutí všech měřících cyklů byl jistič C rozebrán a zjistím, co způsobily degradační účinky na vnitřní části jističe C. Tyto účinky nelze pozorovat během měření, protože jakmile bych jistič rozebral, tak by došlo ke zničení jeho funkce.

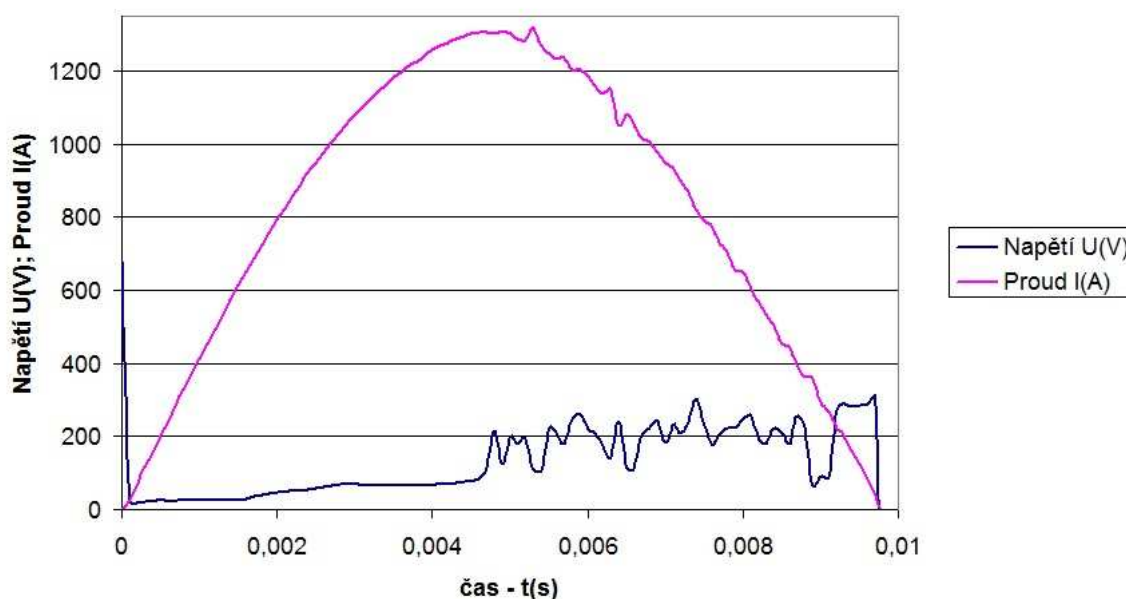
Průběh napětí a proudu na jističi (měření č.1)



Graf 12. - Grafický výsledek měření č. 1

Graf (Graf 12.) ukazuje jak jistič C ze začátku hoření oblouku omezuje proudovou půl vlnu. Jistič je schopen po prvním měření vypnout elektrický oblouk při konci proudové půl vlny. Energie na oblouku $W = 1314,9 \text{ J}$ a energie propuštěné do obvodu $I^2 t = 6913,2 \text{ A}^2 \text{ s}$. Jak je vidět z výsledných výpočtů energií, tak jistič C je po prvním měřicím cyklu méně účinný než předchozí dva jističe.

Průběh napětí a proudu na jističi (měření č.4)

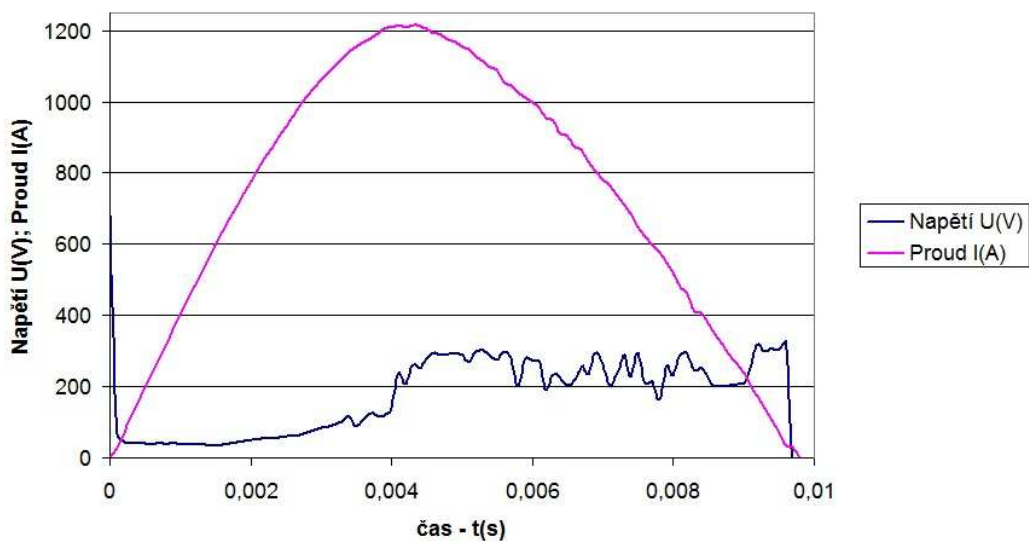


Graf 13. - Grafický výsledek měření č. 4

Graf (Graf 13.) zobrazuje jistič C po třech předchozích měřících cyklech. Lze vidět obloukové napětí $U_A = 200\text{ V}$, které signalizuje špatné plnění své funkce. Při dalších dvou měřících cyklech nebyl jistič C schopen sepnout, a proto nenastalo žádné vypnutí zkratu, to znamená, že nedošlo ke změření hodnot, z důvodu přílišného zahřátí bimetalové spouště. Bimetalová spoušť je v důsledku tepelných účinků tak pokroucená, že kontakty nepustí k sepnutí jističe. Energie na oblouku $W = 1035,8\text{ J}$ a energie propuštěné do obvodu $I^2t = 8021,7\text{ A}^2\text{s}$.

Graf (Graf 14.) znázorňuje další měřící cyklus, po kterém v následujícím měření nedošlo k sepnutí jističe. Jistič neplní svoji funkci. V měření pokračuji, abych zjistil kolik měření bude jistič schopen absolvovat, než nebude schopen sepnout.. Energie na oblouku $W = 1307,7\text{ J}$ a energie propuštěné do obvodu $I^2t = 6606,9\text{ A}^2\text{s}$.

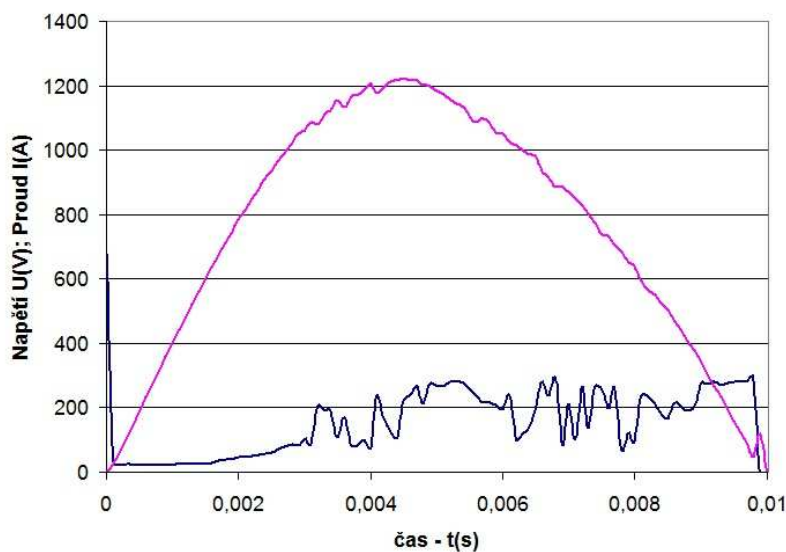
Průběh napětí a proudu na jističi (měření č.16)



Graf 14. - Grafický výsledek měření č. 16

Graf (Graf 15.) zobrazuje výsledky posledního měřicího cyklu (měření č.26.). Další měření jistič C nebyl schopný sepnout do stavu zapnuto. Přehřátí tepelné spouště způsobilo její deformaci tak, že kontaktům nedovolí sepnutí. Po tomto testu jsem nechal proběhnout ještě dvě testovací měření, jestli se jako u předešlých měření tepelná spoušť neochladí a jistič bude schopen sepnout. Tento stav nenastal a tak měření č. 26 je poslední. Energie na oblouku $W = 1217,5 \text{ J}$ a energie propuštěné do obvodu $I^2t = 7067,7 \text{ A}^2\text{s}$.

Průběh napětí a proudu na jističi (měření č.26)



Graf 15. - Grafický výsledek měření č. 26

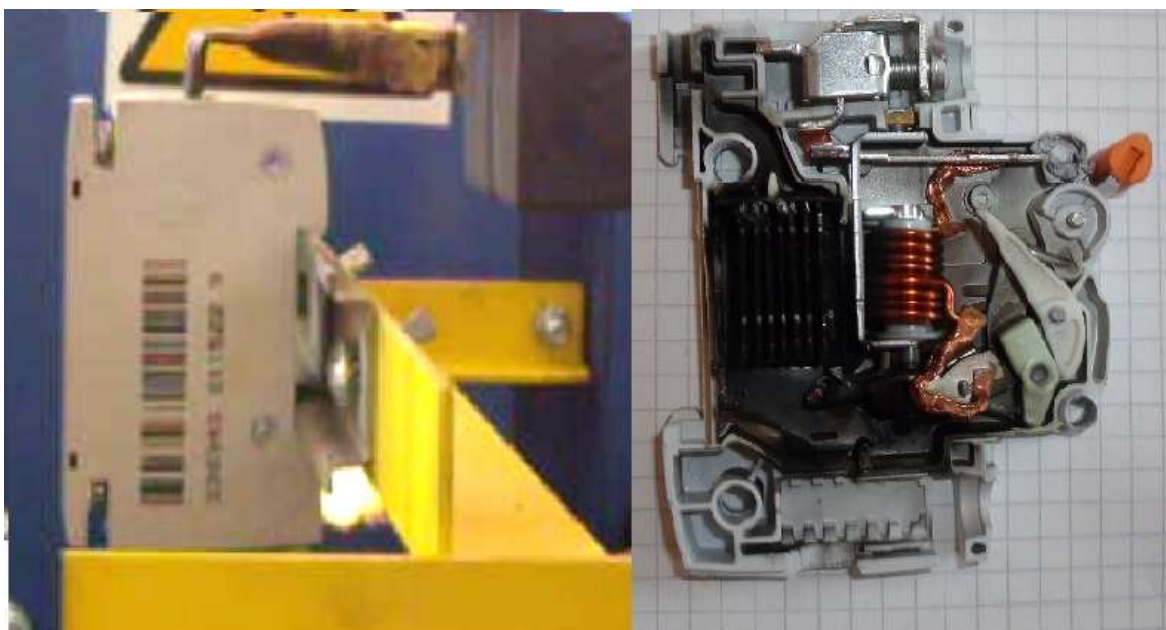


Obr. 33. – Jistič před měřením

Obrázek výše, viz Obr. 33., nám přehledně zobrazuje jistič C těsně před měřením, kdy na tento jistič nepůsobil žádný zkratový proud. Obrázek níže, viz Obr. 34., je vyfocený těsně po měření a je na něm vidět fyzické poškození. Poškození se nachází v oblasti zhášecí komory, kde docházelo k uhasínání elektrického oblouku. Toto poškození vzniká díky opětovnému vystavení elektrickému oblouku a proto dochází k zahřívání zhášecí komory.



Obr. 34. – Jistič po měření



Obr. 35. - Jistič C během zkratu a po měření

Na obrázku, viz Obr. 35. – vlevo, vidíme moment, kdy došlo k úniku elektrického oblouku mimo jistič. Elektrický oblouk uniká z jističe v okolí dolní vysouvací západky. Na stejném obrázku, viz Obr. 35. – vpravo, vidíme degradovaný jistič C vyfocený těsně po měření. Můžeme pozorovat, jak došlo ke zničení zhášecí komory a jejího okolí. Také vidíme, jak cívka zkratové spouště byla zasažena elektrickým obloukem.

Tabulka (Tab. 6.) přehledně znázorňuje jednotlivé cykly měření jističe C, energie na oblouku a energii propuštěnou do obvodu. Některé řádky měření nejsou spočítány, jelikož nedošlo k řádnému měření a jistič nebyl schopný přes deformaci tepelné spouště povolit kontaktům spuštění.

Tab. 6. - Výsledná energie na oblouku a energie propuštěná do obvodu

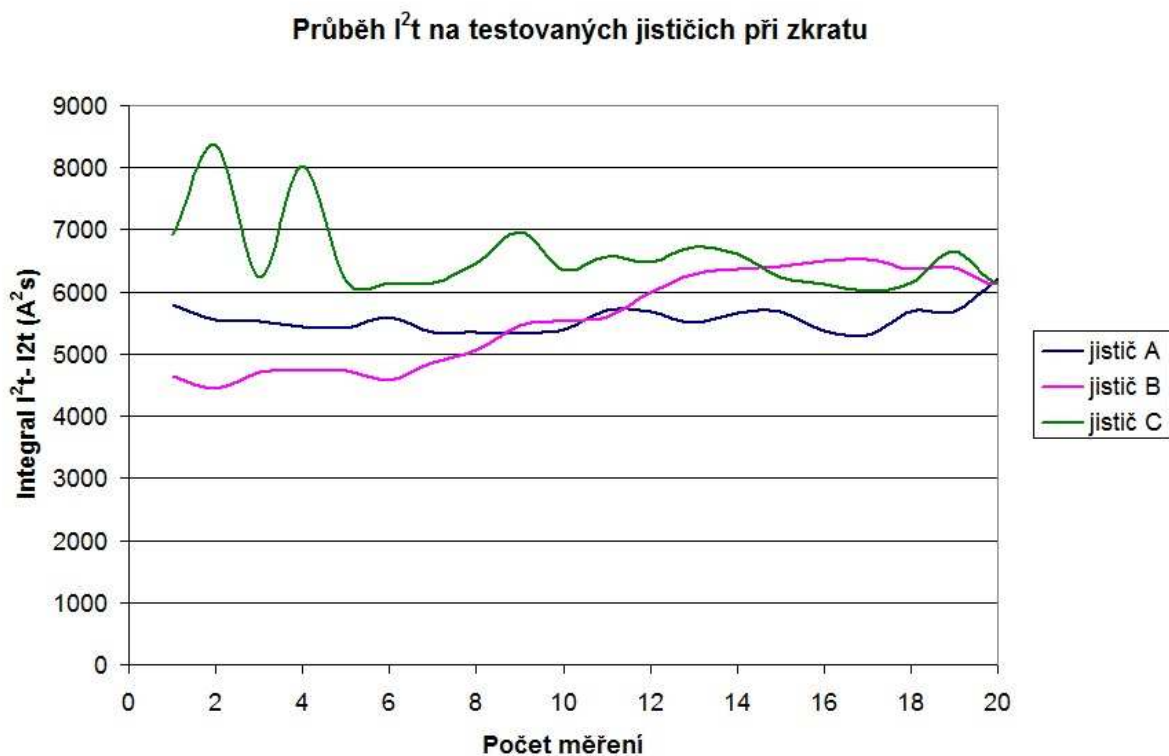
Počet měření	W [J]	I ² t [A ² t]	Počet měření	W [J]	I ² t [A ² t]
1.	1314,982	6913,28	15.	1313,7	6713,376
2.	964,1914	8358,85	16.	1307,735	6606,902
3.	1415,907	6245,09	17.	x	x
4.	1035,81	8021,764	18.	1369,291	6225,601
5.	x	x	19.	1385,067	6125,185
6.	x	x	20.	1419,494	6014,354
7.	1382,953	6168,165	21.	1385,119	6151,436
8.	1441,141	6135,461	22.	1340,605	6660,534
9.	1401,457	6143,687	23.	1388,672	6155,566
10.	1347,898	6460,347	24.	1330,35	6600,956

Počet měření	W	I ² t	Počet měření	W	I ² t
	[J]	[A ² t]		[J]	[A ² t]
11.	1273,096	6970,445	25.	1424,311	6019,655
12.	1329,793	6349,381	26.	1217,514	7067,356
13.	1345,991	6574,857	27.	x	x
14.	1348,382	6472,004	28.	x	x

7.5 Porovnání propuštěných energií I²t

Graf (Graf 16.) zobrazuje průběh propuštěné energie do obvodu během měření. V grafu jsem zahrnul jen prvních dvacet měření, jelikož na jističi A jsem jich více neprovedl vinou nefunkčnosti měřicího zařízení. U jističe C jsou uvedena měření, jen ty které byla odměřena. Uvedl jsem je na místo měření. U neodměřených měření nejsou k dispozici hodnoty, tudíž jsem nebyl schopen vypočítat propuštěnou energii do obvodu.

Z grafu (Graf 16.) vidíme jak jistič A drží stejnou hodnotu propuštěné energie do obvodu až do 11. měřicího cyklu. Jistič B má propuštěnou energii do obvodu velice nízkou než jistič A, ale zase v dřívějším měření se tato hodnota začíná zvětšovat. Jistič C má už po prvním měření velice vysokou hodnotu propuštěné energie do obvodu a od 5. měření je vidět, že tento jistič se nechová standardně. Může to být způsobeno tím, že po 4. měření jistič nechtěl rádně sepnout.



Graf 16. – Průběh I²t na testovaných jističích při zkratu

8 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo ověření vypínací charakteristiky jističe a zjištění degradačních účinků při působení zkratu na jistič.

V teoretické části jsem vysvětlil základní funkce jističe a popsal konstrukční řešení. Také jsem zde zahrnul teoretické pozadí zkratu v obvodu a uvedl jsem obecnou definici zkratu, typy zkratu, důvody, které mohou zkrat způsobit a jeho účinky.

V praktické části jsem ověřil vypínací charakteristiky jističů a jejich fyzickou odolnost, při opakovaném zkratu. Po naměření vypínacích charakteristik jsem porovnal katalogové a naměřené hodnoty a zjistil jsem, že jsou podobné. Po téhle části měření následovalo ověřování závislosti okolní teploty na času vypnutí průchozího jmenovitého proudu jističem. Výsledkem tohoto ověřování bylo zjištění, že teplota okolí má značný vliv na funkci tepelné spouště. Naměřené hodnoty odpovídají katalogovým hodnotám.

Hlavní důvod proč jsem provedl měření zkratu, bylo nalézt spolehlivost parametry testovaných jističů. Zjednodušeně řečeno jedná se o měření, kde jsem zjišťoval kolikrát lze danou zkratového proudu bez funkčního nebo estetického poškození. Nejedná se o měření dle platných norem, protože nelze umístit dovnitř jističe měřící čidla, aniž by nedošlo k jeho úplnému poškození, ale jedná se o testovací měření jak se jistič chová při několikanásobném zkratu.

Po odměření všech měřících cyklů, docházelo při měření zkratu, ke kompletní degradaci testovaných jističů. Pozorování zhoršujících se vlastností jističů bylo možné sledovat jak během měření, například únik elektrického oblouku mimo jistič, tak i při vyhodnocování naměřených hodnot. Z vypočtených hodnot je velice jednoduché odhalit měření, při kterém poprvé došlo ke zhoršení jisticích vlastností. Pozoroval jsem menší obloukové napětí, elektrický oblouk v některých případech hořel déle, než došlo k jeho uhašení a také na kondenzátorech zůstávalo větší zbytkové napětí. Pro toto měření by šlo využít vysokorychlostní kameru, která by zjistila jak dlouho elektrický oblouk hoří a po jaké době uhasíná. Tato vysokorychlostní kamera by také určila, jak probíhá elektrický oblouk v jističi. Avšak vyhodnocování dat z vysokorychlostní kamery klade velké nároky na jejich uchování a měření by bylo značně finančně náročné měření.

Program MS Excel jsem použil k vyhodnocení naměřených hodnot, ze kterých jsem následně vytvořil přehledné grafy. V této diplomové práci jsou popsány jen některé výsledné průběhy a to ty, při kterých se událo něco zajímavého. Například jistič neseplnul, oblouk unikl z jističe, nebo se ochranný obal začal tavit. Ostatní výsledné grafy jsou uvedeny jako přílohy k diplomové práci.

Závěrem lze říct, že ze všech testů nejlépe vyšel jistič A, který si zachoval základní funkce v největším počtu měřících cyklů. Za to nejméně kvalitní se jeví jistič C, který přestal plnit svoji přesnou funkci po měřícím cyklu č.4. V měření jsem pokračoval do doby úplné degradace funkce jističe C.

Z ekonomického hlediska se jeví jistič A a jistič B jako velice kvalitní. Lze je použít jak v domovních, tak v průmyslových rozvodech. Jistič C je konstruován výhradně pro domovní rozvody. Pořizovací cena jističe B je nejvyšší, přitom jeho vlastnosti jsou průměrné. Jako nejhorší investice se jeví jistič C, který má nejnižší pořizovací cenu a nejhorší jistící vlastnosti. Proto se jako výhodná investice jeví použití jističe A.

Pokud bych během měření použil vysokorychlostní kameru šlo by velice jednoduše zjistit jak dlouho elektrický oblouk hoří a po jaké době uhasíná. Pomocí této vysokorychlostní kamery lze také určit jak probíhá elektrický oblouk v jističi. Vyhodnocování dat y vysokorychlostní kamery klade velké nároky na uchovávání dat a také by se tohoto měření stalo velice finančně náročné měření.

Použitá literatura:

- [1] HAVELKA, O. *Elektrické přístroje*. Praha : SNTL, 1985. 440 s. ISBN 04-529-85.
- [2] HYTKA, Z., HELŠTÝN, D., KAČOR, P.: *Elektrické přístroje spínací, ochranné a jističí*. VŠB – TUO 2003. Učební texty na CD
- [3] STŘEDA, O., BLÁHA, J.: *Posuzování zkratových poměrů v síti*. Trutnov, 1988. 146 s. ISBN 59-350-87
- [4] TROJÁNEK, Z.; HÁJEK, J.; KVASNICA, P. *Přechodové jevy v elektrizačních soustavách*. Praha : SNTL, 1987. 310 s. ISBN 04-534-87.
- [5] HRADÍLEK, Z. *Elektroenergetika II*. Ostrava : VŠb Ostrava, 1993. 164 s. ISBN 80-7078-195-5.
- [6] Firemní literatura OEZ Letohrad s. r. o, *Jističe Minia LPN*.
URL: http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/3286-Z01-09_CZ_SK.pdf [cit. 2010-04-24]
- [7] Firemní literatura Elektro – System – Technik s.r.o, *Jističe DLS6 – technická dokumentace*.
URL: http://www.est-praha.cz/obj/files/1/attachment_198_fileinfo.pdf [cit.2010-04-24]
- [8] Firemní literatura Schneider Electric a.s. , *Modulární jistič Domae*
URL : http://katalog.schneider-electric.cz/dsmapp/data/pdf/CZ/MG1/S528_Domae_katalog.pdf
[cit. 2010-04-24]
- [9] *Moeller.cz* [online]. [cit. 2010-02-18]. Eaton Elektrotechnika s.r.o. Dostupné z WWW:
<<http://www.moeller.cz/pdf/WB-TI.pdf>>.
- [10] *Elektrika.cz* [online]. [cit. 2010-02-18]. Elektrika. Dostupné z WWW:
<<http://elektrika.cz/data/clanky/ochrana-proti-zkratovym-proudum/view>>
- [11] Internetové stránky katedry 420,
URL: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/rozvody_lomy/10_zkraty.pdf [cit. 2010-04-13]
- [12] *Odbornecasopisy.cz* [online]. [cit. 2010-04-15]. Odborné časopisy. Dostupné z WWW:
<<http://www.odbornecasopisy.cz/download/elektro/2007/el060742.pdf>>
- [13] Bc. MACH, MARTIN. *Řešení zkratových poměrů v průmyslovém objektu*. Ostrava, 2009. 63 stran. Diplomová práce na fakultě elektrotechniky a informatiky Vysoké školy Báňské – Technické univerzity Ostrava na katedře elektroenergetiky. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Krejčí Petr, Ph.D.
- [14] Ing. KAČOR, P., Ph.D., *Měření propuštěné energie v jističi nízkého napětí při zkratu*, EPE 2010, ISBN 978-80-214-4094-4
- [15] HAVRÁNEK, PETR. *Závislost charakteristiky jističe NN na teplotě*. Ostrava, 2007. 30 s., Bakalářská práce na fakultě elektrotechniky a informatiky Vysoké školy Báňské – Technické univerzity Ostrava na katedře elektrických strojů a přístrojů.
Vedoucí bakalářské práce Ing. David Helštýn

Seznam příloh:

- Příloha č. 1 - Výsledný graf měření číslo 1-3 jističe A
- Příloha č. 2 - Výsledný graf měření číslo 4-6 jističe A
- Příloha č. 3 - Výsledný graf měření číslo 7-9 jističe A
- Příloha č. 4 - Výsledný graf měření číslo 10-12 jističe A
- Příloha č. 5 - Výsledný graf měření číslo 13-15 jističe A
- Příloha č. 6 - Výsledný graf měření číslo 16- 18 jističe A
- Příloha č. 7 - Výsledný graf měření číslo 19-20 jističe A
- Příloha č. 8 - Výsledný graf měření číslo 1-3 jističe B
- Příloha č. 9 - Výsledný graf měření číslo 4-6 jističe B
- Příloha č. 10 - Výsledný graf měření číslo 7-9 jističe B
- Příloha č. 11 - Výsledný graf měření číslo 10-12 jističe B
- Příloha č. 12 - Výsledný graf měření číslo 13-15 jističe B
- Příloha č. 13 - Výsledný graf měření číslo 16-18 jističe B
- Příloha č. 14 - Výsledný graf měření číslo 19-21 jističe B
- Příloha č. 15 - Výsledný graf měření číslo 22-24 jističe B
- Příloha č. 16 - Výsledný graf měření číslo 25-27 jističe B
- Příloha č. 17 - Výsledný graf měření číslo 28-30 jističe B
- Příloha č. 18 - Výsledný graf měření číslo 1-3 jističe C
- Příloha č. 19 - Výsledný graf měření číslo 4,7,8 jističe C
- Příloha č. 20 - Výsledný graf měření číslo 9-11 jističe C
- Příloha č. 21 - Výsledný graf měření číslo 12-14 jističe C
- Příloha č. 22 - Výsledný graf měření číslo 15,16,18 jističe C
- Příloha č. 23 - Výsledný graf měření číslo 19-21 jističe C
- Příloha č. 24 - Výsledný graf měření číslo 22-24 jističe C
- Příloha č. 25 - Výsledný graf měření číslo 25,26 jističe C